



Fábio André Azevedo Cerqueira

Licenciado em Ciências de Engenharia Civil

Avaliação das condições de ventilação de lares de idosos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: João Carlos Viegas, Investigador Principal,
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Co-orientador: Daniel Aelenei, Professor Auxiliar,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade
Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Fernando Manuel Anjos Henriques
Arguente: Prof. Doutor José Fernando de Almeida Dias
Vogal: Doutor João Carlos Godinho Viegas



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho de 2015

‘Copyright’ Fábio Cerqueira, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Quero agradecer aos meus pais, Maria Azevedo e Luis Cerqueira, pois sem eles esta dissertação nunca passaria à realidade.

Agradecer ao Doutor João Viegas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil pelo apoio, disponibilidade, passagem de conhecimento e paciência.

Agradecer ao Professor Daniel Aelenei, pela disponibilidade, pelo apoio e por me ter possibilitado participar no projeto GERIA, o qual espero ter contribuído para uma melhoria na qualidade de vida de todos os idosos, dos quais alguns tive o prazer de conhecer.

Agradecer à Arquiteta Susana Azevedo, bolsreira de investigação do projeto GERIA, a qual me acompanhou em todas as visitas aos lares de idosos e foi ainda responsável por todos os levantamentos e informação tratada nesta dissertação.

Agradecer à Professora Doutora Ana Luísa Papoila e à Professora Sofia Lopes da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Nova de Lisboa pelo auxílio prestado nos desenvolvimentos estatísticos.

Ao Engenheiro César Sobreira, pelo enquadramento no projeto.

A todos os meus amigos.

Ao LNEC pelo seu acolhimento e pela oportunidade de realizar este trabalho no Núcleo de Acústica Iluminação Componentes e instalações, aos técnicos e aos restantes funcionários do LNEC por tão bem me terem acolhido.

A dissertação foi desenvolvida no âmbito do projeto (GERIA) Estudo Geriátrico em Efeitos na Saúde da Qualidade do Ar Interior em Lares da 3ª Idade em Portugal (PTDC/SAL-SAP/116563/2010), projeto financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Resumo

Os utentes das estruturas residências para pessoas idosas (ERPI) permanecem grande parte do tempo em ambientes interiores. Portanto, a exposição a uma fraca qualidade do ar interior (QAI) poderá afetar a saúde e qualidade de vida dos mesmos. A ventilação, é uma técnica reconhecida que visa melhorar a QAI e da qual se espera um impacto significativo na saúde dos ocupantes. Assim, este estudo, inserido no âmbito do projeto GERIA, pretende avaliar as condições de ventilação dos lares de idosos.

Como parte do projeto GERIA, 33 instituições na cidade de Lisboa, foram escolhidas aleatoriamente e convidadas a participar. Em cada um dos lares efetuou-se o levantamento das características construtivas, assim como medições de CO₂ no interior dos quartos, durante a noite. Uma vez que no interior dos quartos não há afetação do ar interior por parte da combustão de combustíveis fósseis as emissões de CO₂ consideradas devem-se exclusivamente à ocupação humana.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as condições de ventilação em lares de idosos. Ao aplicar o método do gás traçador, mais concretamente as técnicas de emissão constante, decaimento e regime estacionário foi possível determinar as taxas de ventilação nos quartos de dormir. Estas medições ocorreram entre Novembro de 2013 e Julho de 2014.

Concluiu-se que 70% dos quartos possuem concentrações de CO₂ estacionário acima de 1250 ppm. Através da técnica da emissão constante, 44% dos quartos possuem taxas de renovação de ar inferiores a 0,4 h⁻¹.

Termos chave: Ventilação, Lares de idosos, Qualidade do ar interior.

Abstract

The users of elderly care centres (ECC) spend most of their time inside the premises indoors. Therefore, exposure to poor indoor air quality (IAQ) is likely to affect their health and quality of life. Ventilation is a recognized technique that focuses on improving the IAQ, which is expected to have a significant influence on the building occupant's health. That said, this study, inserted under the GERIA project, aims to assess the ventilation conditions of elderly care centres.

As part of the project, 33 private institutions for social care, located in the urban area of Lisbon, were randomly selected and invited to participate. In every one of the ECCs a survey was performed to gather the building characteristics and CO₂ levels were measured in night period. Since the indoor air of these rooms is not affected by fossil fuel combustion, the measured CO₂ emissions are considered as a surrogate marker of human body emissions.

The main purpose of this work was to evaluate the ventilation conditions in the ECC. When applying the tracer gas method, more precisely the constant concentration method, the concentration decay method and the steady-state condition method it was possible to determine the ventilation rates in the sleeping rooms. This measurements were made between November 2013 and July 2014.

It is concluded that 70% of the rooms have steady-state CO₂ concentrations above 1250 ppm. Furthermore, it is also concluded that 44% of the rooms, with more representative ventilation rates, have air renovation rates below 0,4 h⁻¹.

Keywords: Ventilation, Elderly Care Centre, Indoor Air Quality.

Publicações

Funchal, 16-19 Dezembro 2014

Cerqueira, F., Azevedo, S., Aelenei, D., Viegas, J., (2014). “Assessment of Ventilation in Elderly Care Centres”, 40th IAHS World Congress in Housing – Sustainable Housing Construction.

Porto, 26 – 28 de Março 2015

Aelenei, D., Nogueira, S., Viegas, J., Mendes, A., Cano, M., **Cerqueira, F.** (2015), “Caracterização experimental das taxas de renovação horária em residências para pessoas idosas”, 5ª Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios – PATORREB 2015.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento do tema.....	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Organização e estrutura da dissertação.....	2
2	Estado de conhecimento.....	3
2.1	Qualidade do ar interior.....	3
2.2	Ventilação.....	4
2.3	Contaminantes no interior dos edifícios	5
2.4	Taxas de ventilação	14
2.5	Taxas de ventilação recomendadas para ocupação contínua.....	18
2.6	Taxas de ventilação recomendadas para ocupação transiente	21
2.7	A população idosa em Portugal.....	21
3	Metodologia	23
3.1	Seleção dos lares	23
3.2	Caracterização dos edifícios	23
3.3	Técnicas para determinação das taxas de ventilação.....	24
3.4	Método estatístico de validação.....	27
3.5	Análise de sensibilidade para a estimativa da taxa de geração de dióxido de carbono (G)...	28
3.6	Avaliação das incertezas de medição	29
4	Análise de Resultados.....	33
4.1	Caracterização das estruturas residências para pessoas idosas.....	33
4.2	Análise dos resultados da concentração de dióxido de carbono.....	36
4.3	Análise dos resultados das taxas de ventilação	38
4.4	Análise da distribuição de resultados da concentração de CO ₂ de acordo com a caixilharia	42
4.5	Análise comparativa entre os resultados das taxas de ventilação através da técnica da emissão constante e da técnica de perfluorocarbonos	47
4.6	Análise comparativa entre os resultados das taxas de ventilação e concentrações de CO ₂ com outro estudo	48
5	Conclusões e sugestões para desenvolvimentos futuros.....	49
5.1	Considerações finais.....	49
5.2	Sugestões para desenvolvimentos futuros	49
	Bibliografia.....	51
	Anexos.....	55

Índice de Quadros

Quadro 2.1 Níveis máximos recomendados de exposição por poluente	5
Quadro 2.2 Requisitos do ar ventilado	7
Quadro 2.3 Taxa de metabolismo por atividade (adaptado RECS)	8
Quadro 2.4 Classificação dos efeitos à exposição dos VOCs	10
Quadro 2.5 Condições de referência para os poluentes microbiológicos	11
Quadro 2.6 Níveis típicos de taxas de humidade	13
Quadro 2.7 Níveis típicos de taxas de humidade por ocupantes	13
Quadro 2.8 Caudais mínimos de extração de ar para instalações	13
Quadro 2.9 Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida à ocupação – Adaptado RECS	20
Quadro 3.1 Incerteza das medições	31
Quadro 4.1 Caracterização geral das ERPI analisadas	33
Quadro 4.2 Envolvente das ERPI.....	34
Quadro 4.3 Caracterização dos vãos envidraçados	35
Quadro 4.4 Caracterização dos vãos envidraçados	42

Índice de Figuras

Figura 2.1 Efeito da taxa de ventilação na percepção da intensidade do odor corporal [20]	7
Figura 2.2 Influência da densidade ocupacional na intensidade do odor corporal [20]	7
Figura 2.3 Variação dos poluentes em função da vizinhança e tempo [42]	15
Figura 2.4 Efeito do espaçamento dos edifícios em função da altura na dispersão da poluição rodoviária [20]	15
Figura 2.5 Plumas descendentes e contaminação cruzada de edifícios adjacentes [20]	16
Figura 2.6 Cápsula emissora PFT	17
Figura 2.7 Cápsula recetora	18
Figura 2.8 Porta ventiladora	18
Figura 2.9 Evolução das taxas mínimas de ventilação dos EUA [20]	19
Figura 2.10 Variação da poluição em função das taxas de ventilação [20]	19
Figura 2.11 Índice de Envelhecimento (Pordata)	21
Figura 2.12 Estruturas de apoio social para idosos	22
Figura 3.1 Evolução da concentração de CO ₂ num quarto de dormir	24
Figura 3.2 Ajustamento gráfico para a fase de crescimento	25
Figura 3.3 Ajustamento selecionado	28
Figura 3.4 Ajustamento não selecionado	28
Figura 3.5 Equipamentos de medição	31
Figura 4.1 ERPI construída em 2011	Figura 4.2 Edifício adaptado para ERPI construído em 34
Figura 4.3 Caixilho em madeira em mau estado de conservação (esquerda) e janela de correr sem vedantes (direita)	36
Figura 4.4 Valores da concentração de CO ₂ nos 43 quartos no Inverno	37
Figura 4.5 Valores da concentração de CO ₂ nos 37 quartos no Verão	37
Figura 4.6 Valores das taxas de ventilação segundo a técnica de emissão constante (Inverno)	38
Figura 4.7 Valores das taxas de ventilação segundo a técnica de emissão constante (Verão)	39
Figura 4.8 Valores das taxas de ventilação segundo a técnica de decaimento (Inverno)	39
Figura 4.9 Valores das taxas de ventilação segundo a técnica de decaimento (Verão)	40
Figura 4.10 Valores das taxas de ventilação segundo a técnica de regime quase-estacionário (Inverno)	41
Figura 4.11 Valores das taxas de ventilação segundo a técnica de regime quase-estacionário (Verão)	41
Figura 4.12 Concentração de CO ₂ em função do material do caixilho	43
Figura 4.13 Concentração de CO ₂ em função do tipo de vedante	43
Figura 4.14 Concentração de CO ₂ em função do tipo de folha móvel	44

Figura 4.15 Concentração de CO ₂ em função da presença de caixa de estore	44
Figura 4.16 Concentração de CO ₂ em função do material do caixilho	45
Figura 4.17 Concentração de CO ₂ em função do material do tipo de vedantes	45
Figura 4.18 Concentração de CO ₂ em função do tipo de folha móvel	46
Figura 4.19 Concentração de CO ₂ em função da presença da caixa de estore	46
Figura 4.18 Comparação entre resultados de taxas de ventilação para técnicas diferentes.....	47
Figura 4.19 Comparação entre resultados de concentrações de CO ₂ para estudos diferentes.....	48
Figura 4.20 Comparação entre resultados das taxas de ventilação para estudos diferentes	49

Índice de siglas e abreviaturas

QAI - Qualidade do ar interior;

ERPI - Estruturas residenciais para pessoas idosas;

CO₂ - Dióxido de carbono;

COV - Compostos orgânicos voláteis;

OMS - Organização Mundial de Saúde;

TCE – Tricloretileno;

HAP - Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos;

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços – Requisitos de Ventilação e Qualidade do Ar Interior;

Rn – Radão;

Ra - Rádium;

PFT - Volatile per fluoro tracers;

G - Taxa de geração de dióxido de carbono;

\dot{V} - Caudal de ventilação;

α - Nível de significância;

K-S - Teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov;

C - Concentração de dióxido de carbono;

C₀ - Concentração de dióxido de carbono inicial;

C_e - Concentração de dióxido de carbono exterior;

C_{ext} - Concentração de dióxido de carbono exterior;

V - Volume do compartimento.

1 Introdução

1.1 Enquadramento do tema

Portugal, de acordo com a Base de Dados Portugal Contemporâneo Pordata é o oitavo país mais envelhecido do mundo e o sexto a nível europeu onde cerca de 23% da população tem mais de 60 anos. Parte desta população apresenta problemas respiratórios e doenças crónicas [1].

Diversos estudos mostram também que a população desta faixa etária permanece em média entre 19 a 20 horas em ambientes interiores. Para além disto, os idosos possuem sistemas imunitários mais debilitados e problemas de saúde próprios da idade que podem ser agravados pelos poluentes existentes no ambiente interior dos edifícios [2].

Segundo o Gabinete de Estratégia e Planeamento o número de lares de idosos aumentou cerca de 49% entre 1998 e 2010. A avaliação da qualidade do ar interior (QAI) nestas instituições é fundamental para que daí possam resultar medidas de referência, tanto para os atuais lares como para os futuros [3].

A qualidade do ar interior depende, não só da intensidade dos poluentes fruto da ocupação humana, emissões de materiais e equipamentos, como da eficácia da ventilação nos compartimentos e da própria qualidade do ar fornecido [4]. O comportamento humano também influencia significativamente a ventilação dos espaços e em alguns casos o controlo da fonte poluente [5].

Vários estudos demonstram a existência de elevadas concentrações de dióxido de carbono em edifícios públicos. Por exemplo, em escolas tais níveis são causados não só pela elevada densidade ocupacional mas também devido à insuficiente ventilação das salas de aulas [6] [7] [8] [9]. Esta constatação foi verificada em escolas portuguesas, onde as atividades próprias das crianças contribuíram para o incremento de partículas em suspensão no ambiente [10] [11]. Níveis elevados de CO₂ estão frequentemente relacionados com elevados níveis de concentração de outros poluentes [12] [13]. A existência destes poluentes em jardins-de-infância e creches foi também reportado a nível internacional [14] [15] [16].

Os estudos que avaliam a qualidade da ventilação em lares de idosos são raros, talvez por se considerar os problemas associados à QAI pouco importantes. Estudos neste campo prendem-se essencialmente com a análise ao conforto, no entanto, a qualidade de vida dos idosos depende também da ventilação dos edifícios [2] [17]. Para responder a necessidade de conhecer melhor a QAI das estruturas residenciais para pessoas idosas (ERPI) foi desenvolvido o projeto de investigação GERIA, no qual a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa participa em conjunto com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil para responder assim aos desafios relacionados com a avaliação da ventilação. Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito deste projeto, cujo objetivo principal é estudar qual o desempenho da qualidade do ar interior e da ventilação no bem-estar e qualidade de vida dos idosos residentes em lares de 3ª idade em Lisboa e Porto.

1.2 Objetivos

O presente estudo tem como objetivo estimar as taxas de ventilação de quartos de dormir em ERPI na cidade de Lisboa. Esta avaliação foi realizada recorrendo ao método do gás traçador, onde foram aplicadas várias técnicas, tais como, a técnica da emissão constante, a técnica do decaimento e a técnica do regime estacionário. Para validar os resultados, foi utilizado um teste estatístico com o objetivo de avaliar a hipótese das taxas de ventilação obtidas serem representativas quando comparadas com os valores obtidos por via analítica. Foi ainda desenvolvida uma análise comparativa das taxas de ventilação obtidas através da técnica dos PFTs que consiste na introdução e monitorização de Perfluorocarbonos no interior dos compartimentos [18].

Com a realização do presente trabalho espera-se resultados que possam contribuir para uma melhor qualidade de vida na população visada nesta dissertação.

1.3 Organização e estrutura da dissertação

A dissertação está organizada em 5 capítulos.

No presente capítulo, encontra-se uma breve descrição dos temas que serão abordados nos capítulos seguintes, onde é realçada a importância da qualidade do ar interior assim como a sua contribuição para uma melhor qualidade de vida dos idosos.

O segundo capítulo é responsável pelo estado do conhecimento. São apresentadas as características mais relevantes para caracterizar o ambiente interior, assim como as exigências que o mesmo deve requerer, não só em termos legais como também sob o ponto de vista de interesse para a saúde pública.

O terceiro capítulo faz referência à metodologia, onde se inclui as técnicas adotadas para a determinação das concentrações de dióxido de carbono e das taxas de ventilação, bem como a caracterização dos edifícios.

No quarto capítulo, é realizada a análise de resultados.

No quinto e último capítulo, são registadas as conclusões retiradas ao longo do estudo efetuado, onde se sugere ainda desenvolvimentos futuros.

2 Estado de conhecimento

2.1 Qualidade do ar interior

Generalidades

A qualidade do ar interior, engloba variadíssimos conceitos [19]. Deste modo, é imperativo para a definição da QAI ter em conta perspetivas de ordem física, química e biológica. Do ponto de vista físico, a concentração de uma qualquer substância num espaço contido depende de fontes interiores, aberturas para o exterior, da variabilidade da temperatura e pressão e da dependência do tempo destes. Sob o ponto de vista químico, a concentração dos diversos químicos deverá ser medida em ambiente interior, mesmo tendo em conta a presença simultânea de diferentes químicos e das suas baixas concentrações. Do ponto de vista biológico, a concentração de químicos deverá ser avaliada sob a perspetiva de potencial de risco ou perigo. A biologia procura assim, prever efeitos na saúde humana provocados pela exposição das concentrações destes químicos.

Uma fraca qualidade do ar interior pode estar na origem da “Síndrome do edifício doente” [20]. Esta, foi alvo de estudos por parte de médicos e psicólogos, construtores e engenheiros com o intuito de identificar a motivação para o uso desta expressão. Desta forma a deficiente qualidade do ar interior afeta particularmente a população em três áreas:

- Conforto: “ar pesado”, odor no meio ambiente;
- Efeitos agudos na saúde: irritação nos olhos, doenças respiratórias, transmissão de doenças por via aérea;
- Efeitos crónicos na saúde: poderão demorar décadas a surgir.

Como resultado da deficiente QAI, estudos recentes demonstraram que há uma relação direta entre a qualidade do ar em ambientes fechados e a produtividade, assim como no desempenho e assiduidade dos estudantes nas suas respetivas escolas [21] [22].

Os edifícios cujo ambiente interior têm influência direta no agravar da saúde e bem-estar dos ocupantes são conhecidos como “Edifícios doentes”. Isto é frequentemente motivado pela falta de ar novo ou “fresco”. Sendo os principais fatores para este problema os sistemas, ativos ou passivos, de fraca ventilação e o ar exterior poluído [20]. Este, com origem no tráfego rodoviário, indústria, exaustão da ventilação dos edifícios. Para além destes, existem outras fontes poluentes que podem contaminar o ar interior, nomeadamente:

- Interior: os materiais utilizados na construção do edifício, mobiliário, ocupantes, equipamentos, etc;
- Os solos: radão, metano, etc.

Estes problemas têm vindo a aumentar nas últimas duas décadas devido a:

- Aumento da impermeabilização do ar nos edifícios;
- Redução das taxas de ventilação de modo a reduzir os consumos energéticos;
- Aumento do uso de computadores, impressoras, fotocopiadoras e outros equipamentos em escritórios;
- O aumento do têxtil como revestimento de pisos e mobiliário com alta emissão de poluentes;
- Aumento da utilização de ar-condicionado;
- Falta de manutenção em geral.

Os poluentes frequentemente encontrados no ar interior são odores, dióxido de carbono, formaldeído, compostos orgânicos voláteis, fumo de tabaco, ozono, radão, óxidos de azoto e aerossóis. O vapor de água, apesar de inofensivo para os humanos, quando presente em altas concentrações pode provocar de forma indireta problemas de saúde. Na maioria dos casos, a concentração destes poluentes situa-se

abaixo do valor-limite para desencadear efeitos imediatos. Contudo efeitos a longo prazo são, em geral, desconhecidos [23].

Uma das causas para a fraca qualidade do ar interior prende-se com os edifícios ventilados deficitariamente e isto não só por falta de admissão do ar exterior mas também pela fraca qualidade do ar fornecido. Estudos efetuados em edifícios com ventilação mecânica e ventilação natural evidenciam que há maiores queixas relacionadas com a “síndrome do edifício doente” (como o bloqueio nasal, garganta seca, dores de cabeça, rinite e alergias) entre os ocupantes de edifícios com ventilação mecânica [24] [25]. Acredita-se também que estas queixas sejam causadas por poluentes emitidos internamente nos próprios edifícios, como os materiais de construção utilizados, o mobiliário, equipamentos e atividades decorrentes do dia-a-dia e ai os próprios ocupantes dos edifícios [26].

O estímulo olfativo

O olfato humano é geralmente mais sensível do que os instrumentos de medição de concentração de contaminantes existentes, sendo capaz detetar níveis de concentração indetetáveis através de instrumentos de medição [20].

A perceção de odores pelo ser humano é algo com carácter profundamente subjetivo, sendo assim difícil definir um valor-limite para os vários tipos de odor [20]. Como tal, a qualidade do ar é muitas vezes determinada pela sensibilidade do ser humano aos vários odores.

A maior parte das substâncias orgânicas são estimulantes ao olfato, enquanto apenas algumas substâncias inorgânicas o são. Posto isto, qualquer avaliação subjetiva da qualidade do ar através do olfato não poderia incluir todas as fontes de poluição. Para além disso, alguns poluentes, muito nocivos para a saúde, não são perceptíveis aos humanos, como é o exemplo do monóxido de carbono e do radão [20].

Efeitos da temperatura e humidade na perceção da qualidade do ar

Estudos desenvolvidos no âmbito da QAI demonstraram que existe uma correlação entre a perceção da qualidade do ar e a entalpia do ar envolvente. Testes realizados numa câmara climática onde indivíduos foram expostos ao ar limpo e ao ar poluído, proveniente de materiais de construção, com temperaturas entre os 18°C e 28°C e humidade relativa entre os 30% e 70%, demonstraram que a intensidade do odor não depende da temperatura e humidade. Contudo, houve um enorme impacto da temperatura e humidade na perceção da qualidade do ar. Esta perceção foi idêntica para um variado número de fontes de poluição [26].

Noutro estudo, realizado em escritórios sujeitos a variações de temperatura e humidade relativa, os materiais de construção e contaminantes que advêm da ocupação humana foram utilizados como principais fontes de poluição. Nesta experiência, observou-se a mesma perceção registada no estudo realizado na câmara climática [27].

2.2 Ventilação

Ventilação é o processo pelo qual, ar novo ou “fresco” (normalmente ar exterior) é intencionalmente fornecido num espaço e o ar viciado é removido. Este processo pode ser realizado naturalmente, processo pelo qual esta dissertação se irá debruçar, ou mecanicamente [28].

A ventilação é essencial para a saúde e conforto dos ocupantes em qualquer tipo de edifício. É sobretudo necessária para reduzir e remover todos os poluentes emitidos por variadíssimas fontes existentes no ambiente interior. Contudo, a ventilação é apenas um especto no que concerne à qualidade do ar nos edifícios, não devendo assim se sobrepor ao controlo da fonte de modo a minimizar o poluente, pois preferencialmente este deve ser eliminado [29]. No entanto, como alguns desses poluentes não podem ser eliminados, há que diminuir as suas concentrações sendo esse o papel fundamental da ventilação.

Termos como “Síndrome do edifício doente” são cada vez mais divulgados pela comunicação social, originando desta forma uma maior preocupação, entre a população, devido aos seus efeitos na saúde. Com isto, a ventilação ganha maior relevância, pois apesar de continuar a ser um tema de domínio técnico, passa também a ser uma preocupação de domínio público [20].

Infiltração e “exfiltração” do ar

A infiltração é o processo de escoamento incontrollável através de aberturas intencionais, ou não, na envolvente do edifício [28]. Esta pode diminuir o desempenho dos sistemas de ventilação. Naturalmente, daí advém, entre outros problemas, maiores consumos energéticos.

Grande parte dos países, incluindo Portugal, possuem normas que limitam a permeabilidade ao ar nos edifícios [30]. Assim, é fundamental a coexistência de uma conceção eficaz na ventilação. Isto é, com uma baixa permeabilidade ao ar. Não obstante desta última premissa, é também fundamental que a ventilação seja projetada de acordo com a idealização do edifício e a sua densidade ocupacional [20].

De forma a ser cumprida a equação da continuidade, o processo inverso à infiltração também ocorre, sendo designado por “exfiltração” do ar. Com isto, importa salientar que estes processos indesejados, quando não são tidos em conta pelo projetista, podem distorcer a conceção da ventilação intencional.

2.3 Contaminantes no interior dos edifícios

Foram identificadas mais de 8000 substâncias químicas no interior dos edifícios. No entanto, existe pouca informação científica sobre os seus efeitos para a saúde, tanto por contaminante como pelo seu conjunto. Não obstante, grande parte desses contaminantes não existem, na maioria dos edifícios, em concentrações que possam ser consideradas nocivas, mesmo tendo em conta os novos hábitos da sociedade. Estes promovem uma maior exposição a estes poluentes, pelo facto de haver uma maior permanência e por períodos mais longos em ambiente interior [28].

Na grande maioria dos edifícios há que ter especial atenção a sete poluentes. São estes o monóxido de carbono, o fumo de tabaco, o formaldeído, compostos orgânicos voláteis, o radão, o ozono e os aerossóis.

Os odores, o dióxido de carbono e a humidade, em conjunto, têm também um peso significativo na qualidade do ar interior, particularmente em espaços com elevada densidade ocupacional. Por outro lado, com a criação de novas políticas e novas normas o número de poluentes cancerígenos presentes no ar tem vindo a diminuir desde 1950 [31].

Apresenta-se no quadro 2.1, os contaminantes mais comuns assim como valores recomendados para ambientes interiores [23].

Quadro 2.1 Níveis máximos recomendados de exposição por poluente [32]

Poluente	Exposição a longo prazo		Exposição a curto prazo		Exposição ocupacional	
	Nível (μgm^{-3})	Tempo médio (anos)	Nível (μgm^{-3})	Tempo médio (anos)	Nível (μgm^{-3})	Tempo médio (anos)
Dióxido de enxofre (SO_2)	80	1	365	24	13	8
Material particulado	75 ^a	1	260 ^c	24	5	8
Partículas (PM_{10})	50 ^b	1	150 ^a	24	10	Instantâneo
Monóxido de carbono (CO)	-	-	40000 ^c 10000 ^c	1 9	55	8

Poluente	Exposição a longo prazo		Exposição a curto prazo		Exposição ocupacional	
	Nível (μgm^{-3})	Tempo médio (anos)	Nível (μgm^{-3})	Tempo médio (anos)	Nível (μgm^{-3})	Tempo médio (anos)
Ozono	-	-	235	1	0,2	8
Hidrocarbonetos	-	-	160	3	-	-
Formaldeído (HCHO)	-	-	-	-	0,12	Contínuo
Dióxido de nitrogénio (NO ₂)	100	1	-	-	9	Instantâneo
Óxido nítrico (NO)	-	-	-	-	30	8
Amoníaco (NH ₃)	500	1	7000	-	-	-
Acetona (CH ₃ COCH ₃)	7000	24 h	24000	0,5	-	-
Dicloroetano (CH ₃ CHCL ₂)	2000	24 h	6000	0,5	-	-
Acetato de etilo (CH ₂ COOC ₂ H ₅)	14000	24 h	42000	0,5	-	-
Tricloroetileno (CH ₃ CCL ₃)	2000	1	16000	0,5	-	-
Mercúrio (Hg)	2	24 h	42000	0,5	-	-
Chumbo (Pb)	1,5	0,25	-	-	-	-
Radon	0,0015WL ^d	1	-	-	1WL ^d	Instantâneo

a – Média geométrica

b – Média aritmética

c – Não excede mais do que uma vez por ano

d – 1WL=1,3x10⁵ Me V l⁻¹ de ar

2.3.1 Odor

O odor está associado à ocupação, à preparação de alimentos, às instalações sanitárias e ao lixo. O olfato permite uma percepção de concentrações muito baixas de odores, contudo isto varia de indivíduo para indivíduo. Indivíduos expostos a odores por longos períodos, tornam-se menos sensíveis a estes. O odor corporal é resultado da transpiração, de secreções sebáceas através da pele, e pelo sistema digestivo.

A diluição do odor para níveis aceitáveis, é normalmente alcançada através da renovação do ar. Em 1936 estabeleceu-se, através de testes realizados com bio efluentes humanos, que a intensidade do odor percebido ao entrar num quarto ocupado sem cheiro, diminui com a taxa de ventilação do ar exterior, como ilustra a figura 2.1 [33]. Descobriu-se também que a densidade ocupacional é um fator preponderante na percepção da intensidade do odor. Na figura 2.2 é apresentada a taxa de ventilação necessária para manter uma concentração tolerável ao odor corporal. Contudo, importa referir que outros investigadores não encontraram correlação entre a taxa de ventilação e o volume do compartimento. Assim, talvez seja essa a razão pela qual o odor entrou em desuso no que concerne às exigências da qualidade do ar interior [20].

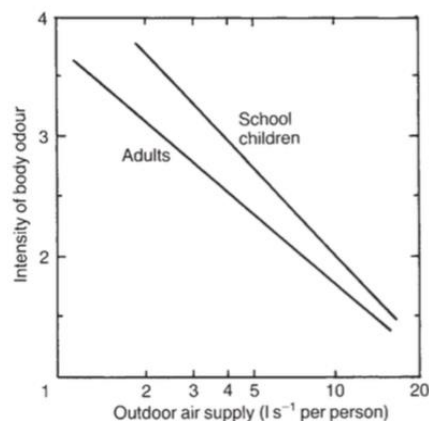


Figura 2.1 Efeito da taxa de ventilação na percepção da intensidade do odor corporal [20]

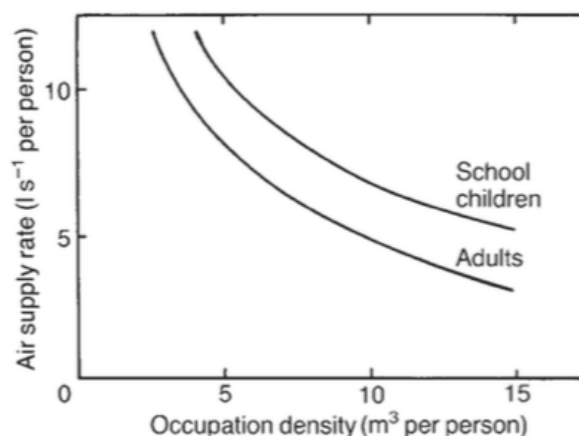


Figura 2.2 Influência da densidade ocupacional na intensidade do odor corporal [20]

2.3.2 Dióxido de carbono

O dióxido de carbono é resultado, essencialmente, da respiração dos seres vivos.

Elevadas concentrações de CO₂ estão geralmente associadas a elevadas concentrações de outros poluentes e a baixas concentrações de oxigénio, que pode causar insuficiente oxigenação do sangue.

Ao contrário de outros poluentes, o CO₂ não pode ser filtrado ou absorvido, podendo por isso ser uma boa medida da viciação do ar interior. Assim sendo, foi escolhido para o cálculo das taxas de renovação de ar no presente estudo. A medição da concentração de CO₂ tem a vantagem de poder ser efetuada com equipamentos simples, de fácil operação, leves e silenciosos. Estes equipamentos permitem taxas de sucesso bastante satisfatórias a baixo custo e com perturbação mínimas.

Apresenta-se no quadro 2.2 taxas de ventilação recomendadas de acordo com a atividade física, segundo a norma britânica [34]. enquanto que o quadro 2.3 é referente à legislação portuguesa [35].

Quadro 2.2 Requisitos do ar ventilado [34]

Atividade (homem adulto)	Taxa metabólica (M) (W)	Taxa de ventilação para manter a concentração de CO ₂ num quarto para um dado valor assumindo 0,04% CO ₂ em ar fresco (l s ⁻¹)	
		0,5% CO ₂	0,25% CO ₂
Sentado	100	0,8	1,8

Atividade (homem adulto)	Taxa metabólica (M) (W)	Taxa de ventilação para manter a concentração de CO ₂ num quarto para um dado valor assumindo 0,04% CO ₂ em ar fresco (l s ⁻¹)	
		0,5% CO ₂	0,25% CO ₂
sossegadamente			
Trabalho ligeiro	160-320	1,3-2,6	2,8-5,6
Trabalho moderado	320-480	2,6-3,9	5,6-8,4
Trabalho pesado	480-650	3,9-5,3	8,4-11,4
Trabalho muito pesado	650-800	5,3-6,4	11,4-14

Nota: Estes valores são baseados na taxa de produção de CO₂ de $7,2 \times 10^{-5}$ M (l s⁻¹).

Apresenta-se no quadro 2.3 os valores de referência para as taxas de metabolismo em vigor na legislação portuguesa [35].

Quadro 2.3 Taxa de metabolismo por atividade (adaptado RECS) [35]

Tipo de atividade	Taxa de metabolismo dos ocupantes – M (met) 1 met = 58,15 W/m ²
Sono	0,8
Descanso	1,0
Sedentária	1,2
Moderada	1,75 (1,4 a 2,0)
Ligeiramente alta	2,5 (2,0 a 3,0)
Alta	5 (3,0 a 9,0)

A concentração máxima de CO₂ recomendada em Portugal é de 1250 ppm [35]. No entanto, valores superiores a 1000 ppm podem originar desconforto e dores de cabeça.

Estudos realizados em salas de aulas de escolas secundárias portuguesas, apontam para concentrações de CO₂ acima dos regulamentados [17].

2.3.3 Fumo de tabaco

O fumo de tabaco produz um odor indesejado, particularmente para os não fumadores. Algumas substâncias constituintes do fumo de tabaco podem originar irritação na vista e nas vias respiratórias [20]. Outras substâncias nele presentes, como alcatrão, nicotina e monóxido de carbono podem levar a problemas de saúde aos fumadores e aos fumadores passivos, especialmente em locais poucos ventilados. Outros estudos indicam que fumadores passivos podem contrair cancro do pulmão com maior probabilidade que os não fumadores [19].

Taxas de renovação do ar recomendadas para diluir o fumo de tabaco variam consideravelmente [36]. Para um fumador médio, que fume cerca de 17 cigarros num dia de 13 horas, a norma britânica recomenda 7 l s⁻¹ de ar por fumador em conjunto com o ar recomendado para os outros poluentes [34] [37]. Devido à quantidade de ar necessário para diluir o fumo de tabaco, o número de fumadores deve ser estimado na fase de projeto do sistema de ventilação. No entanto, com a existência da lei de proibição do ato de fumar em recintos fechados, Lei nº 37/2007 de 14 de Agosto, este aspeto perde importância.

2.3.4 Formaldeído

Formaldeído é um químico presente em ambientes tecnológicos. Está presente em produtos cosméticos, produtos de higiene pessoal e embalagens de produtos alimentares, com concentrações até 1%. Medidas implementadas nas décadas de 70 e 80, com vista a diminuir os consumos energéticos,

levaram a um elevado aumento no uso de espuma ureia-formaldeído nos edifícios, devido às suas boas propriedades isolantes térmicas [20].

Devido aos efeitos adversos na saúde, a sua utilização caiu em desuso. Contudo, resinas de formaldeído continuam a ser utilizadas, especialmente no fabrico de materiais de construção e em mobiliário. O baixo preço destas resinas faz com que o formaldeído seja o material mais utilizado na colagem de contraplacados marítimos, placas de reboco e no fabrico de fibra de vidro. Para além disto, o formaldeído é também utilizado no fabrico de papel de parede, carpetes e têxteis. Os aparelhos de combustão geram também quantidades apreciáveis de formaldeído.

O formaldeído uma vez no corpo humano, reage com os tecidos que contêm hidrogénio na forma de aminoácidos, proteínas e ADN, causando danos. É ainda um irritante que produz uma variedade de sintomas os quais dependem do modo, da concentração e duração de exposição. Alguns estudos indiciam que o formaldeído é cancerígeno em ratos, embora estudos similares efetuados em humanos demonstraram ser inconclusivos [19].

A concentração de formaldeído num dado compartimento depende da área da superfície emissora, volume de ar, taxa de ventilação e ainda parâmetros como temperatura, humidade e idade da fonte.

Grande parte das normas de ventilação e desempenho energético permitem um limite máximo de exposição ao formaldeído. Em Portugal, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços – Requisitos de Ventilação e Qualidade do Ar Interior fixa este valor como limiar de proteção em $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ou 0,08 ppmv.

Importa ainda salientar que medições realizadas em campo demonstraram que este limite é excedido para diferentes tipos de habitação, particularmente aquelas onde este poluente é utilizado no isolamento térmico.

2.3.5 Compostos orgânicos voláteis

Os compostos orgânicos voláteis, formam-se a partir de variadíssimas fontes no interior dos edifícios. Não há contudo, uma clara definição das classes dos COVs presentes no ar interior, embora estes sejam definidos a partir do seu ponto de ebulição, ou seja, entre os 50° e 260°C .

A investigação realizada para os efeitos na saúde dos COVs é algo recente. Deste modo, há pouca informação disponível sobre os efeitos de exposição prolongada para a maioria dos COVs já conhecidos.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) destaca um conjunto de compostos orgânicos voláteis como poluentes que merecem especial atenção. Entre eles encontram-se o naftaleno, o benzeno, o tricloretileno (TCE), o perloroetileno e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) [39]. Quanto ao naftaleno, as principais preocupações na saúde prendem-se com lesões no trato respiratório. Incluindo tumores no trato superior respiratório e anemia. O benzeno por sua vez é uma substância cancerígena genotóxica (substâncias genotóxicas têm afinidade para interagir com o ADN). Segundo a OMS não há limites considerados seguros para a sua exposição sendo por isso de evitar, apesar disto o RECS considera $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como o limiar de proteção para este composto. Sobre o TCE não há evidências muito claras sobre os seus efeitos na saúde, contudo há vestígios deste composto ser cancerígeno, com principal efeito cancerígeno sobre o fígado. O RECS limita este composto a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O perloroetileno não é visto como um dos compostos mais perigosos em termos cancerígenos, isto porque apesar de efeitos adversos verificados em animais através de testes laboratoriais não é possível extrapolar esses efeitos para os humanos. Apesar disto, este composto levanta duas preocupações que levaram a OMS a incluir este poluente numa lista muito restrita de poluentes prejudiciais à saúde. Estas preocupações prendem-se com a afetação do desempenho neuro comportamental e também alterações renais precoces. Por isso, o RECS define como limiar de proteção $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por último, os HAP são COVs altamente carcinogéneos, pelo que uma vez mais a sua exposição deve ser evitada.

Na grande parte dos edifícios, a concentração de COVs não é suficientemente elevada para que se possa estabelecer um risco para a saúde. Estudos realizados em alguns países europeus, não encontraram uma correlação positiva entre medições de concentração de COVs e a síndrome do edifício doente.

Apresentar no quadro 2.4 os sintomas esperados dos seres humanos quando sujeitos a diferentes concentrações de compostos orgânicos voláteis.

Quadro 2.4 Classificação dos efeitos à exposição dos VOCs [20]

Concentração de COV ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Descrição
<200	Gama de conforto
200-3000	Zona de multi fatores à exposição
3000-25000	Gama de desconforto
>25000	Gama tóxica

2.3.6 Ozono

O ozono está presente no ar exterior de forma natural, onde a sua concentração depende da altitude e clima. É também produzido em ambiente interior, por aparelhos electroestáticos e máquinas de escritório, como fotocopiadoras e impressoras laser. O ozono é um dos poluentes tóxicos mais regulamentados para o ambiente interior. Tem potencial adverso, agudo e crónico na saúde se presente em concentrações elevadas. Aparenta também provocar alterações significativas a nível psicológico e patológico, tanto em animais como em humanos, quando expostos a concentrações consideradas elevadas. Estudos efetuados em animais e em voluntários, realizados em ambiente de laboratório, demonstraram significativas alterações nos pulmões em resposta a exposição na gama de 0,1-0,4 ppm (200-800 $\mu\text{g m}^{-3}$) durante uma a duas horas [38]. A OMS recomenda concentrações máximas de 50 partes por milhão de milhões (100 $\mu\text{g m}^{-3}$) para oito horas de exposição.

2.3.7 Radão

Radão (Rn) é um gás radioativo que se encontra na natureza de forma natural. Este surge da degradação do rádio (Ra), presente em pequenas quantidades na crosta superior terrestre, em especial no substrato granítico, e em materiais de construção. O rádio por sua vez surge da degradação em cadeia do urânio (U). Relativamente ao radão, este produz uma série de isótopos de vida curta, dois dos quais, ^{222}Rn e ^{220}Rn . Parte dos átomos de radão podem ser libertados para o ar, onde partículas alfa emitidas representam um perigo para a saúde [20].

A concentração de radão na atmosfera é medida em Becquerel, por metro cubico, sendo o limiar de proteção, de acordo com a legislação portuguesa, de 400 Bq/m³.

Os níveis de concentração de Radão, nos edifícios, dependem do historial geológico do local de implantação e da origem dos materiais utilizados na construção. Assim, são esperados níveis discrepantes de concentração entre países ou mesmo entre localidades. Desta forma, o nível de atividade deste poluente é influenciado pela radioatividade do solo e materiais de construção, a proporção de Rn livre na qual se difunde no ar dos compartimentos, a taxa de deposição dos isótopos de Rn em superfícies sólidas e as taxas de ventilação

2.3.8 Aerossóis

O ar exterior poluído é uma complexa mistura de fumo, névoas, partículas granulares, partículas biogénicas e naturais e fibras sintéticas [20]. Quando em suspensão no ar, estas partículas são designadas por aerossóis. Um aerossol é um líquido ou partícula sólida que está em suspensão de forma quase estável no ar. Grande parte dos aerossóis, existentes no ambiente interior, têm origem em fontes exteriores que penetram na envolvente do edifício. Estes penetram através de fendas e aberturas pela ação do vento, da diferença de temperatura entre o interior e o exterior e por influência dos sistemas de ventilação. Caso os sistemas de ventilação mecânica sejam utilizados, a concentração no ar interior de partículas transportadas pelo ar podem ser reduzidas pela filtragem do ar.

Os aerossóis de diâmetro abaixo de 0,01 µm, são normalmente formados pela combustão de combustíveis fósseis e isótopos do radão. Os aerossóis com dimensão até 0,1 µm, são produzidos aquando da preparação de alimentos e pelo fumo de tabaco. Com dimensões entre 0,1-10µm são normalmente transportados como poeira existente no ar, microrganismos e alérgenos.

No ar interior, partículas de diâmetro superior a 75 µm, depositam-se rapidamente e são designadas de “areia”, mas partículas cujo diâmetro seja inferior a 50 µm poderão permanecer em suspensão no ar e constituir um aerossol. Contudo, os aerossóis nunca são completamente estáveis e as partículas são eventualmente depositadas nas superfícies a uma taxa que está inversamente relacionada com a dimensão da partícula. Aerossóis muito finos poderão permanecer em suspensão durante várias semanas, enquanto as maiores partículas poderão depositar-se numa questão de minutos. A deposição das partículas é também influenciada pela eletricidade estática, correntes de ar e gradientes de temperatura no interior dos compartimentos. Estes gradientes causam correntes de convecção no ar, onde favorecem a deposição de partículas em superfícies frias (deposição térmica), particularmente as partículas com dimensão inferior a 2,5 µm de diâmetro (PM_{2.5}).

A concentração de partículas na atmosfera é descrita em termos de quantidade e massa por unidade de volume. De acordo com o RECS as partículas em suspensão da fração PM₁₀ possuem um limiar de proteção de 50 µg/m³ e as de fração PM_{2.5} cerca de 25 µg/m³, tendo ambas uma margem de tolerância de 100%.

Os efeitos nocivos dos aerossóis para a saúde devem-se aos poluentes biogénicos como fungos, bolores, ácaros, bactérias, vírus e pólenes [20]. O pó existente no interior dos edifícios, o qual consiste numa mistura de pele humana e animal, materiais fibrosos de origem têxtil, partículas orgânicas e ácaros, são também potenciais alérgenos e uma das causas da asma e rinite alérgica para cerca de 1% da população. Os pólenes são os principais causadores de alergias e podem causar febres sazonais. As partículas finas (PM_{2.5} e menores) tendem a permanecer retidas nos pulmões e a alojar-se em pequenos espaços de ar no interior dos mesmos, constituindo um maior risco para a saúde a longo prazo.

A transmissão de doenças virais através das vias respiratórias ocorre através da troca de matéria transportada pelo ar. Doenças como a gripe, rubéola e varicela são amplamente transmitidas no ar interior por aerossóis que contêm estes vírus. Por outro lado, doenças infecciosas bacteriológicas, tal como a doença de Legionário, a qual é do tipo não transmissível é emanada por fontes existentes nos edifícios. Em particular, surtos desta doença ocorrem essencialmente em edifícios com sistemas de climatização cujo ciclo de funcionamento inclui o contacto com água, como torres de arrefecimento a água ou humidificadores. O agente bacteriano *Legionella pneumophila* é multi-infeccioso e afeta os pulmões, causando pneumonia, vômitos e diarreia. Tem ainda um período de incubação de 5 a 6 dias. Exposição a esta bactéria poderá causar entre 1% a 7% de infeções as quais possuem uma taxa de mortalidade de 15% [39].

A redução dos riscos associados à *Legionella pneumophila* pode ser atingida através da adição de agentes oxidantes nas torres de refrigeração e de uma boa manutenção [40]. Contudo, como resultado da divulgação de epidemias associadas a esta doença, o uso de torres de arrefecimento a água entrou em desuso, sendo estas substituídas por torres de arrefecimento a ar. A legislação nacional contempla valores de referência para as bactérias de *Legionella* e para os fungos. Esta informação encontra-se no quadro 2.5 [35].

Quadro 2.5 Condições de referência para os poluentes microbiológicos [35]

Bactérias	Matriz	Unidade	Condições de referência
<i>Legionella spp</i>	Ar	[UFC/m ³]	Concentração de bactérias totais no interior inferior à concentração no exterior, acrescida de 350 UFC/m ³
	Água	[UFC/L]	Concentração inferior a 100 UFC/L, exceto no caso de pesquisa em tanques de torres de arrefecimento em que deve verificar-se uma

Bactérias	Matriz	Unidade	Condições de referência
			concentração inferior a 1000UFC/L Ausência de <i>Legionella pneumophila</i>
Fungos	Ar	[UFC/m ³]	Concentração de fungos no interior inferior à detetada no exterior

2.3.9 Vapor de água

A concentração de vapor de água no ar interior pode influenciar o conforto dos ocupantes e o seu bem-estar. Assim existem três formas de definir o nível de vapor de água no ar [20].

Humidade específica (ω) – É a razão entre a massa de vapor de água presente no ar e a massa de ar seco. É expressa em kg kg⁻¹ ou g kg⁻¹ de ar seco.

Humidade relativa (ϕ) – É a razão entre a pressão de vapor e a pressão de saturação à mesma temperatura e é expressa como percentagem:

Percentagem de saturação (ψ) – É a razão entre a humidade específica e a humidade específica do ar saturado à mesma temperatura:

Contudo, das três definições, apenas a primeira (ω) representa a verdadeira medição de concentração de vapor de água. As outras duas são medidas de concentrações relativas.

A relação entre temperatura do ar, humidade específica, percentagem de saturação e entalpia específica da mistura é normalmente apresentada graficamente num diagrama psicrométrico.

O controlo do vapor de água no ar é importante por um variadíssimo número de razões. Na área da medicina acredita-se que a baixa humidade pode contribuir para o aumento do risco de infeções no trato respiratório. Isto é atribuído à redução do fluxo mucal no nariz ou à sua completa secagem. Dado que a camada mucosa no nariz retém as partículas presentes no ar inalado, incluindo bactérias e vírus trazidos pelas partículas de pó, previne também que estas entrem nos pulmões. A baixa humidade é também responsável por choques electrostáticos como resultado da redução da condutividade elétrica acima de cerca de 2 kV e quando em contacto com objetos metálicos é libertado um choque considerável. Estas pequenas cargas elétricas podem causar problemas em zonas onde componentes eletrónicas estão em utilização, como computadores ou em zonas onde gases inflamáveis estão presentes.

Níveis de humidade elevada podem causar desconforto pela inibição da transpiração através da pele. Em espaços com ventilação inadequada, o aumento da humidade pode também causar congestões e maus cheiros, se tal for prolongado poderá haver o surgimento de cheiro a bolor como resultado do crescimento de fungos. Este último fenómeno em conjunto com temperaturas baixas está normalmente associado a condensações superficiais.

Alguns esporos de bolor e fungos, presentes no ar, podem desenvolver-se com 80-85% de humidade relativa e temperaturas entre 0 e 20°C. Estes podem espalhar-se se a humidade relativa for superior a 70% durante longos períodos [41]. Este fenómeno, provoca um cheiro a “mofo” e pode constituir um perigo para a saúde, podendo causar alergias e doenças como asma, rinite e conjuntivite.

A humidade é emitida constantemente, sob a forma de vapor de água, pelos ocupantes nos edifícios e atividades como preparação de alimentos. Algumas taxas de emissão de atividades próprias do quotidiano estão representadas no quadro 2.6 e os valores típicos da produção de vapor de água por dia são apresentam-se no quadro 2.7 [34]. A acumulação de humidade no interior dos edifícios pode ser reduzida através da ventilação, uma vez que, o ar exterior é normalmente menos húmido.

Apresenta-se no quadro 2.8 os caudais mínimos de extração de ar a assegurar para locais e instalações específicas, nomeadamente zonas húmidas [35].

Quadro 2.6 Níveis típicos de taxas de humidade [34]

Atividade	Taxa de emissão
Ocupação de indivíduos adultos	
Dormir	0,04 kg h ⁻¹ por pessoa
Ativo	0,05 kg h ⁻¹ por pessoa
Preparação de alimentos	
Elettricidade	2 kg por dia
Gás	3 kg por dia
Lavar louça	0,4 kg por dia
Banho	0,4 kg por dia por pessoa
Lavar roupa	0,5 kg por dia
Secar roupa (máquina não ventilada)	1,5 kg por dia por pessoa

Quadro 2.7 Níveis típicos de taxas de humidade por ocupantes [34]

Ocupantes	Emissão de vapor de água diária (kg)		
	Ocupação seca ^a	Ocupação húmida ^b	Ocupação muito húmida ^c
1	3,5	6	9
2	4	8	11
3	4	9	12
4	5	10	14
5	6	11	15
6	7	12	16

a – Ocupação seca – Onde ocorre ventilação eficaz, incluindo edifícios sem ocupação durante o dia.

b – Ocupação húmida – Onde as humidades internas são acima do normal, provável que exista pouca ventilação, possível família com crianças.

c – Ocupação muito húmida – Ventilação praticamente inexistente, geração de elevadas humidades, provavelmente famílias com crianças muito pequenas.

Quadro 2.8 Caudais mínimos de extração de ar para instalações [35]

Tipo de utilização	Caudal [m ³ /h]
Instalação sanitária pública	Max (90x (nº de urinóis + nº de sanitas); 10 x A _{pav})
Instalação sanitária privada	Max (45x (nº de urinóis + nº de sanitas); 10 x A _{pav}) ^(a)
	Max (90x (nº de urinóis + nº de sanitas); 10 x A _{pav}) ^(b)
Balneários	Max (45x (nº de duche); 10 x A _{pav}) ^(a)
	Max (90x (nº de duche); 10 x A _{pav}) ^(b)

a - Quando o sistema de extração tem funcionamento contínuo

b - Quando o sistema de extração não está em funcionamento contínuo

O risco de condensações internas nos edifícios poderá ser avaliado utilizando o diagrama psicrométrico, caso a temperatura superficial dos paramentos seja conhecida. Isto pode ser calculado utilizando a equação da condução do calor [20]:

$$t_s = t_i - (t_i - t_0) U/h_i \quad (2.1)$$

Onde t_s é a temperatura da superfície interna (°C); t_i temperatura do ar interior (°C); t_0 temperatura do ar exterior (°C); U coeficiente de transmissão térmica (Wm⁻²K⁻¹); $1/h_i$ resistência térmica superficial interior (Wm⁻²K⁻¹).

Os valores para U e $1/h_i$ podem ser consultados no ITE 50 do LNEC. Condensações poderão ocorrer quando t_s for igual ou menor que o ponto de orvalho (t_d). O ponto de orvalho pode também ser determinado através do diagrama psicrométrico, ou calculado de forma aproximada pela seguinte expressão:

$$t_d = 4030 (t_a + 235) / [4030 - (t_a + 235) \ln \phi] - 235 \quad (2.2)$$

t_d é o ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$); ϕ humidade relativa.

2.3.10 Monóxido de carbono

O monóxido de carbono (CO) é produzido no interior dos edifícios, através da combustão de subprodutos de origem fóssil. Nos países desenvolvidos, as fontes de exposição interior mais relevantes do CO são os aparelhos de combustão como fornos, fogões, esquentadores ou caldeiras defeituosas, instaladas indevidamente, com fraca ou nenhuma manutenção e ainda ventilação deficitária dos locais onde se encontram esses aparelhos. Nos países em desenvolvimento, a combustão de combustíveis subprodutos de biomassa e o fumo do tabaco são as fontes mais relevantes.

Este poluente tem a particularidade de não ser detetado pelos humanos através do olfato, visão ou paladar, constituindo assim um grau de risco mais elevado.

A exposição ao CO reduz a capacidade física, mesmo em indivíduos jovens saudáveis, podendo provocar angina de peito resultado da baixa concentração de oxigénio no sangue, pois associada a concentrações elevadas de monóxido de carbono estão geralmente associadas baixas concentrações de oxigénio [39]. Em casos extremos a exposição a elevadas concentrações de CO pode levar à asfixia ou a lesões cerebrais devido à ausência de oxigénio no sangue e cérebro. Este problema é acrescido pela facilidade que este gás possui para penetrar no sangue, equiparando-se em ao processo de difusão através da membrana alveolar do oxigénio. O limiar da proteção em Portugal para este poluente é de 10 mg/m³ ou 9 ppmv [35].

2.4 Taxas de ventilação

2.4.1 Qualidade do ar ventilado

Ventilação consiste na substituição de ar poluído ou ar viciado interior por ar “fresco” ou não poluído proveniente do exterior. Embora, a estrutura dos edifícios possa funcionar como “filtro” para o ar infiltrado, verificou-se que certos tipos de poluentes encontram-se em maior concentração no ambiente interior do que no exterior. A tomada de ar do edifício pode ocorrer em zonas contaminadas, como por exemplo, zonas de tráfego intenso, zonas de exaustão de ar de outros edifícios ou da exaustão de combustão de combustíveis fósseis. Não existindo assim, qualquer proveito na característica de “filtro” oferecida pela estrutura do edifício.

Para além da filtragem do ar, poderá ser necessário regular o nível de humidade presente no ar de admissão, com o intuito de manter o controlo da humidade relativa interior.

No que concerne à admissão de ar, são previstos dois tipos de aberturas para que esta ocorra. Uma em parede de fachada (na qual engloba as aberturas nas caixas de estore e outros elementos das fachadas) e as condutas, as quais podem ser individuais ou coletivas [30]. Estas aberturas, devem ser dimensionadas para caudais-tipo, em Portugal estes devem ser calculadas de acordo com a NP 1037-1.

Para evitar contaminação por fontes poluidoras dos espaços exteriores estas aberturas não devem ser colocadas a cotas baixas. Devendo ter-se em conta que um edifício constitui por si só uma obstáculo ao livre fluxo do vento, onde um fluxo incidente numa fachada divide-se a cerca de 70% da altura do edifício, gerando assim uma zona problemática de recirculação de ar na cobertura. Com isto, caso a admissão de ar seja feita ao nível da cobertura, deverá ter-se em atenção para que a tomada de ar se dê a uma cota superior a essa zona [30].

2.4.2 Fontes de ar poluído exterior

O ar exterior poluído pode ser dividido nas seguintes concentrações:

- Concentrações urbanas: cobrem distâncias entre os 5 e 50 km e variam com o tempo na ordem de horas;
- Concentrações vizinhas: incidem em distâncias de 2 km ou menos e variam muito rapidamente ao longo do tempo;
- Concentrações de poluição local: apresentam o impacto de uma fonte poluente local específica.

A relação entre as concentrações de poluição e a sua variação ao longo do tempo pode ser visualizada na figura 2.3 [42].

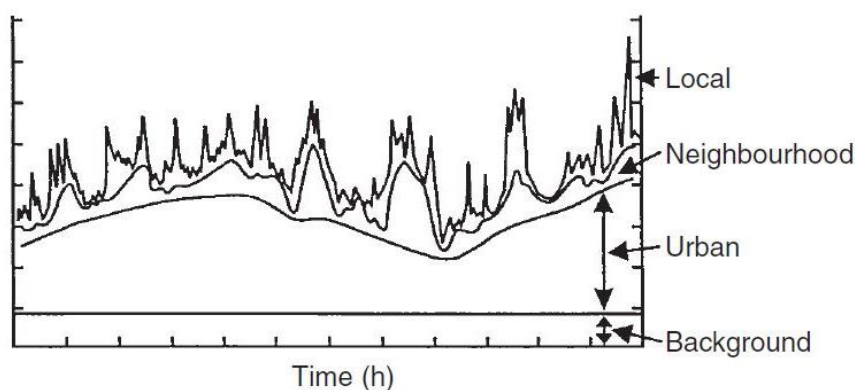


Figura 2.3 Variação dos poluentes em função da vizinhança e tempo [42]

Poluição devido ao tráfego rodoviário

Atualmente, a poluição proveniente do tráfego rodoviário é a fonte mais dominante e difusora da poluição urbana. Contudo, os edifícios podem atenuar a poluição externa e assim reduzir o pico de concentração interna relativamente ao exterior [43]. Uma vez que, este tipo de poluição situa-se a nível térreo, a sua concentração tende a diminuir com a altura [44]. No entanto, correntes de ar locais e a área de implantação podem causar variações significativas na concentração de poluições locais. Como exemplo, a figura 2.4 mostra dois cenários possíveis, um com poluição aprisionada entre edifícios vizinhos adjacentes, que ocorre quando o espaço entre edifícios é reduzido e outro com espaçamento entre edifícios maior mas que origina “vórtices de vento” de poluição.

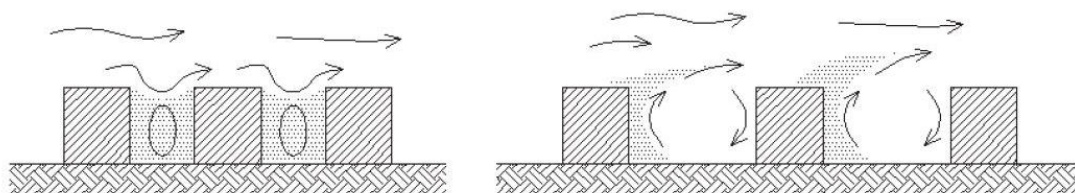


Figura 2.4 Efeito do espaçamento dos edifícios em função da altura na dispersão da poluição rodoviária [20]

A poluição de tráfego também varia com a intensidade e com o congestionamento do mesmo. É portanto mais baixa para um tráfego livre e corrente com velocidades de 60-80 km/h e mais alta para trânsito lento. Para além disto, a poluição é maior em cruzamentos, semáforos e estradas com sistemas de velocidade controlada. Por isso, há o benefício de colocar as tomadas de ar dos edifícios à altura das coberturas e nas traseiras, longe das ruas com muito trânsito ou fontes conhecidas de poluição [20].

Poluição a partir de aparelhos de combustão

Os principais poluentes de aparelhos de combustão a gás são CO, CO₂, NO e NO₂, caldeiras a óleo e caldeiras de combustíveis sólidos que emitem SO₂ e partículas. Geralmente, a exaustão proveniente de caldeiras e outros aparelhos de combustão é posicionada acima da cobertura dos edifícios. Isto para, reduzir o risco de gases provenientes da combustão entrarem no edifício através de janelas e ou aberturas de ventilação. Contudo, conforme os edifícios circundantes e a direção do vento, plumas descendentes ou contaminação cruzada pode ocorrer como ilustra a figura 2.5. Deste modo, as fontes de poluição nos edifícios sobre consideração devem ser identificados e considerados de acordo com o seu potencial de contaminação do edifício.

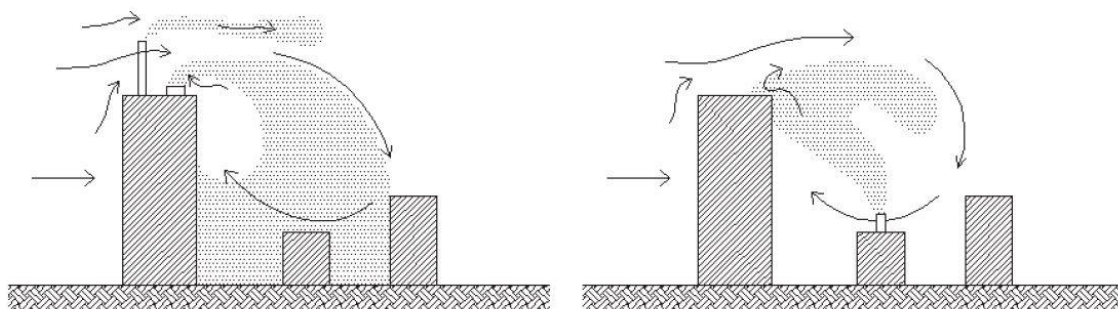


Figura 2.5 Plumais descendentes e contaminação cruzada de edifícios adjacentes [20]

Poluição a partir de processos industriais

A indústria pode produzir uma variedade de poluentes no ar, na água e no solo. No que diz respeito à poluição do ar, descargas em chaminés industriais devem obrigatoriamente ser efetuadas em velocidade e a altitudes acima quer do edifício poluente quer da envolvente. Estas ocorrências devem ser identificadas e corrigidas, para que o fornecimento de ar de edifícios vizinhos não seja comprometido [44].

Poluição a partir de exaustão de ventilação e outros equipamentos

Os extratores de ar, dos edifícios, são frequentemente colocados na mesma fachada que a tomada de ar para balancear o efeito da pressão do vento nos sistemas de admissão e extração. Em alguns casos, esse aproveitamento, facilita a recuperação de calor das duas correntes de ar. Contudo, acresce o risco de contaminação cruzada, ou seja, a exaustão de ar pode entrar na admissão do ar novo. O ar extraído poderá não conter poluentes tóxicos mas a readmissão desse ar pode criar um aumento dos poluentes existentes no interior e subsequente uma qualidade do ar interior deficiente. O ar extraído se misturado com a admissão de ar, poderá provocar o aumento de temperatura desse mesmo ar e por conseguinte levar a uma sobrecarga no sistema de refrigeração do ar. Portanto, para a evitar estes problemas, requer-se especial atenção na localização dos equipamentos AVAC, não menosprezando a orientação dos ventos predominantes [20].

2.4.3 Métodos para determinação das taxas de ventilação

As taxas de ventilação podem ser determinadas de várias formas. As mais importantes incluem o método do gás traçador, o teste de pressurização, os quais são responsáveis por determinar a permeabilidade de componentes como portas ou janelas ou estruturas. Para além destes, há outros métodos para medir e visualizar a renovação do ar no interior dos edifícios [29].

As aplicações típicas destes métodos destinam-se a avaliar [29]:

- Taxa de ventilação do ar admitido num edifício;
- Taxa de ventilação do ar admitido num compartimento;
- Média a longo prazo das taxas de ventilação em edifícios e compartimentos;

- Taxa e padrão da corrente de ar entre compartimentos;
- Estado de viciação do ar e índices de eficiência da ventilação;
- Movimentação qualitativa do ar num dado espaço (*flow visualisation*);
- Movimentação quantitativa do ar num dado espaço (*flow velocity*, turbulência, etc);
- Permeabilidade ao ar do edifício;
- Permeabilidade ao ar de compartimentos individuais;
- Permeabilidade ao ar de componentes;
- Localização de fugas.

Método do gás traçador

Este método consiste na introdução de um gás, que geralmente não está presente no compartimento em estudo, registrando-se a evolução da sua concentração ao longo do tempo [29]. Este método será alvo de um estudo mais profundo no Capítulo seguinte, devido à sua importância no presente trabalho.

Método do gás traçador (Passivo)

Este método foi pioneiro em 1983 por Dietz, atualmente é amplamente utilizado em investigação e avaliações em vários países. Tem a vantagem de poder ser utilizado em edifícios ocupados. Ao utilizar-se mais do que um tipo de gás é possível analisar a interação da ventilação entre zonas distintas dum edifício. Este método é pouco dispendioso e não evasivo, podendo ser realizado por técnicos pouco experientes. A análise dos resultados provenientes deste método é obtida em laboratório através de cromatografia gasosa e da espectroscopia de eletrões [29].

Este tipo de técnica passiva recorre a cápsulas emissoras com traçadores voláteis de perfluorocarbonos (PFT's – *volatile per fluoro tracers*). Estas libertam o gás traçador durante um período de teste no interior do espaço a estudar, enquanto a cápsula recetora retém esse gás traçador. Esquemas dessas cápsulas estão presentes nas figuras 2.6 e 2.7.

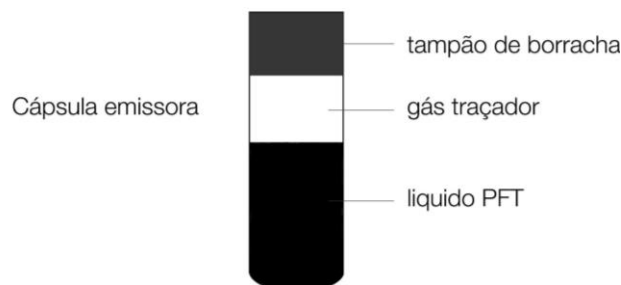


Figura 2.6 Cápsula emissora PFT

Este método, é apenas preciso para taxas de ventilação razoavelmente constantes. As cápsulas emissoras e recetoras depois de utilizadas devem ser manuseadas e armazenadas em separado para evitar o risco de contaminação.

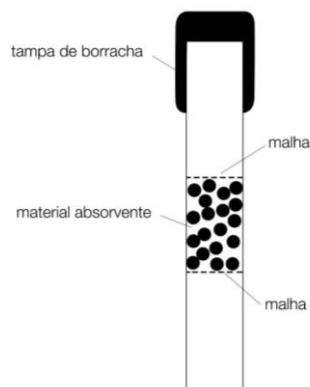


Figura 2.7 Cápsula recetora

Métodos de pressurização

Estes métodos são aplicados para medir a permeabilidade ao ar de edifícios ou componentes, como por exemplo caixilhos [29]. Este método recorre frequentemente à porta ventiladora, figura 2.8, com uma ventoinha, responsável por criar diferenças de pressão incrementais entre o interior e exterior. Para cada incremento de pressão é fornecida uma taxa de ventilação. A relação entre a pressão induzida e a taxa de ventilação é registada num computador, com software específico.

Este método deve ser efetuado durante períodos de pouco vento. O volume máximo para o compartimento não é fixo, sendo esse volume dependente da permeabilidade ao ar do edifício. Com isto, certos edifícios poderão requerer mais do que uma porta ventiladora [29].

Como limitações, esta técnica não obtém informações sobre a quantidade de ar infiltrado. As medições de permeabilidade ao ar são de extrema dificuldade para espaços de grandes dimensões e requerem técnicos especializados para a condução dos ensaios.



Figura 2.8 Porta ventiladora

2.5 Taxas de ventilação recomendadas para ocupação continua

Até muito recentemente, a concentração de dióxido de carbono foi considerada como critério para admissão de ar fresco nos edifícios. Em edifícios modernos, outros poluentes podem ser tão ou mais importantes que o CO₂, quer pelas quantidades produzidas quer pelo impacto na saúde humana.

Durante os últimos 160 anos, nos E.U.A., as taxas de ventilação recomendadas variaram entre os 2,5 l e os 15 l por pessoa e mais recentemente novamente os 2 l por pessoa, como ilustra a figura 2.9. O que demonstra a falta de consenso em relação à taxa de ventilação de ar novo ótima por pessoa. Esta falta

de consenso deveu-se a mudanças de concepção, ao desenvolvimento tecnológico, às alterações no estilo de vida e ao custo energético associado a cada uma destas taxas de ventilação [20].

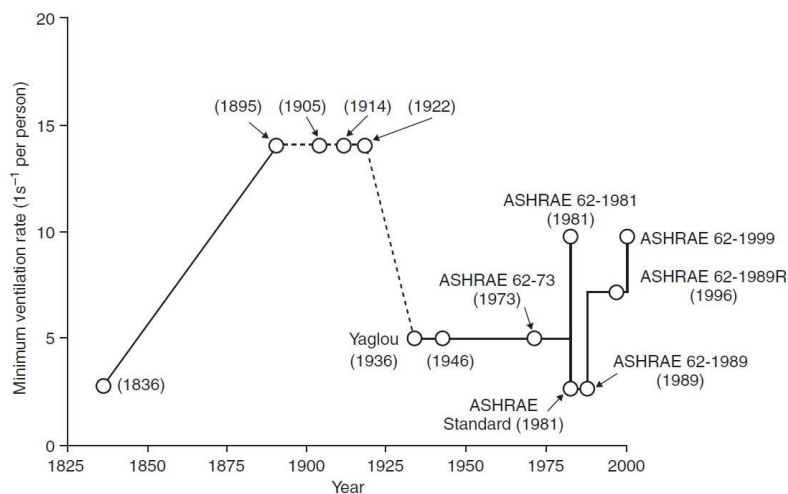


Figura 2.9 Evolução das taxas mínimas de ventilação dos EUA [20]

Assim, para a definição das taxas de ventilação requerem-se requisitos de saúde e conforto [20]. Sempre que seja possível localizar as fontes de poluição, deve proceder-se à sua remoção ou promover a captação dos poluentes na origem, evitando assim a contaminação da envolvente. Contudo, muitas das vezes são de difícil identificação e variadíssimas as fontes de poluição, pelo que a diluição da concentração desses poluentes acaba por ser a única opção. Esta relação, entre taxa de ventilação e concentração de poluição é de ordem inversa, ou seja, concentrações menores obedecem a uma maior ventilação, conforme ilustra a figura 2.10 [20].

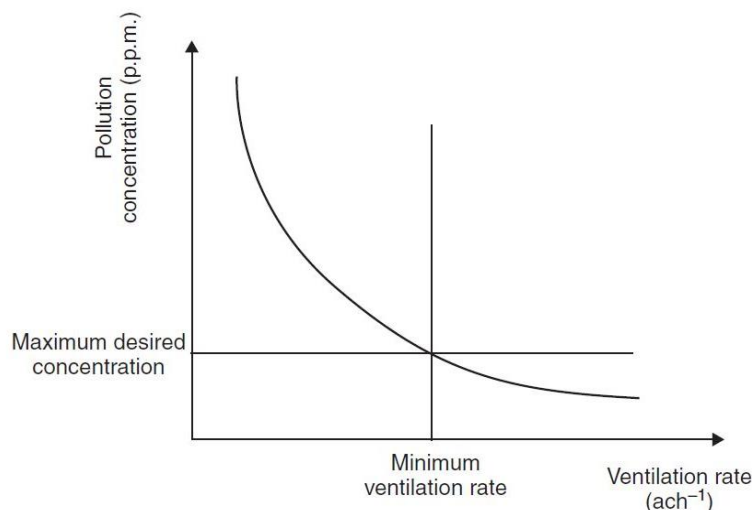


Figura 2.10 Variação da poluição em função das taxas de ventilação [20]

O critério de conforto, requer taxas de ventilação que minimizem os odores, irritação sensorial provocada pelos bio efluentes dos ocupantes, poluentes emitidos pelos edifícios, aparelhos e mobílias. Este critério é normalmente associado a edifícios residenciais, edifícios de escritórios e edifícios públicos. Enquanto, o critério de saúde é normalmente associado a edifícios industriais.

Apesar das diferenças a nível químico e respetivos efeitos entre poluentes, estudos demonstraram que os poluentes podem ter um efeito aditivo, ou seja, quando combinados podem originar uma reação a qual se manifesta em termos de odor e irritação.

A ventilação é fundamental para reduzir a concentração de poluentes no interior. Contudo, o ar interior contém um variadíssimo número de contaminantes, pelo que a taxa de ventilação necessária é difícil de prever. Isto porque a perceção e o efeito dos poluentes em conjunto são diferentes do efeito dos poluentes individualmente. Um exemplo disso é a falta de perceção do odor corporal num ambiente com fumo de tabaco. Devido a esta incerteza, a maior taxa de ventilação é geralmente prescrita [20].

Atualmente, em Portugal, há vários métodos legislados para a determinação do caudal mínimo de ar novo a considerar para um espaço. Nomeadamente, o método analítico e o método prescritivo. O analítico pauta-se por traduzir a aplicação da evolução temporal da concentração de dióxido de carbono previsível para determinado espaço em função da ocupação, do perfil de ventilação e das características físicas dos ocupantes. O método prescritivo, tem por base a determinação de caudais de ar fresco que garantem a diluição da carga poluente devido aos ocupantes e ao tipo de atividade física (atividade metabólica), ao próprio edifício e ainda em função dos materiais de construção, revestimentos e mobiliário.

Apresenta-se no quadro 2.9 o caudal mínimo de ar novo em função da carga poluente devido à ocupação.

Quadro 2.9 Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida à ocupação – Adaptado RECS [35]

Tipo de atividade	Exemplos de tipo de espaço	Caudal de ar novo [m³/ (hora.pessoa)]
Sono	Quartos, dormitórios e similares	16
Descanso	Salas de repouso, salas de espera, salas de conferência, auditórios e similares, bibliotecas	20
Sedentária	Escritórios, gabinetes, secretarias, salas de aula, cinemas, salas de espetáculos, salas de refeições, lojas e similares, museus, salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares	24
Moderada	Laboratórios, ateliers, salas de desenho e trabalhos oficinais, cafés, salas de jogo	28
	Salas de jardim-de-infância e pré-escolas e salas de creche	35
Ligeiramente alta	Pistas de dança, salas em ginásios, salas de ballet	49
Alta	Salas de musculação, salas em ginásios e pavilhões desportivos	98

As zonas húmidas, nomeadamente cozinhas e instalações sanitárias, são zonas críticas de condensações superficiais, particularmente nos envidraçados e material cerâmico. Este problema pode ser resolvido fornecendo taxas de ventilação bastante elevadas durante os períodos de maior atividade nestes espaços. Os ventiladores de exaustão são soluções aceitáveis para a redução dos níveis de humidade, e para a consequente limitação da dispersão da humidade pelas restantes zonas das habitações [45]. Outra alternativa, mais ecológica, é a do fornecimento com sistema de ventilação de extração com recuperador de calor, pois desta forma há o controlo da humidade sem o problema de grandes perdas de energia.

2.6 Taxas de ventilação recomendadas para ocupação transiente

Taxas de ventilação para espaços de ocupação temporária, como salas de aulas, auditórios e outros edifícios públicos, poderão variar de modo a manter baixas as concentrações de contaminantes a qualquer momento. No entanto, grandes quantidades de energia pode ser poupada, ajustando os registos de ventilação, ou simplesmente desativando e ativando ventiladores apenas quando houver ocupação dos compartimentos [20].

2.7 A população idosa em Portugal

Portugal, é um dos países mais envelhecidos, sendo o 6º país mais envelhecido na Europa e o 8º a nível mundial. Como é possível constatar na figura 2.12 o índice de envelhecimento em 2012 era de 129,4% , cerca de 13,9% acima da média dos 28 estados membro da União Europeia. Isto significa, que por cada 100 jovens há mais 30% de pessoas idosas [1].

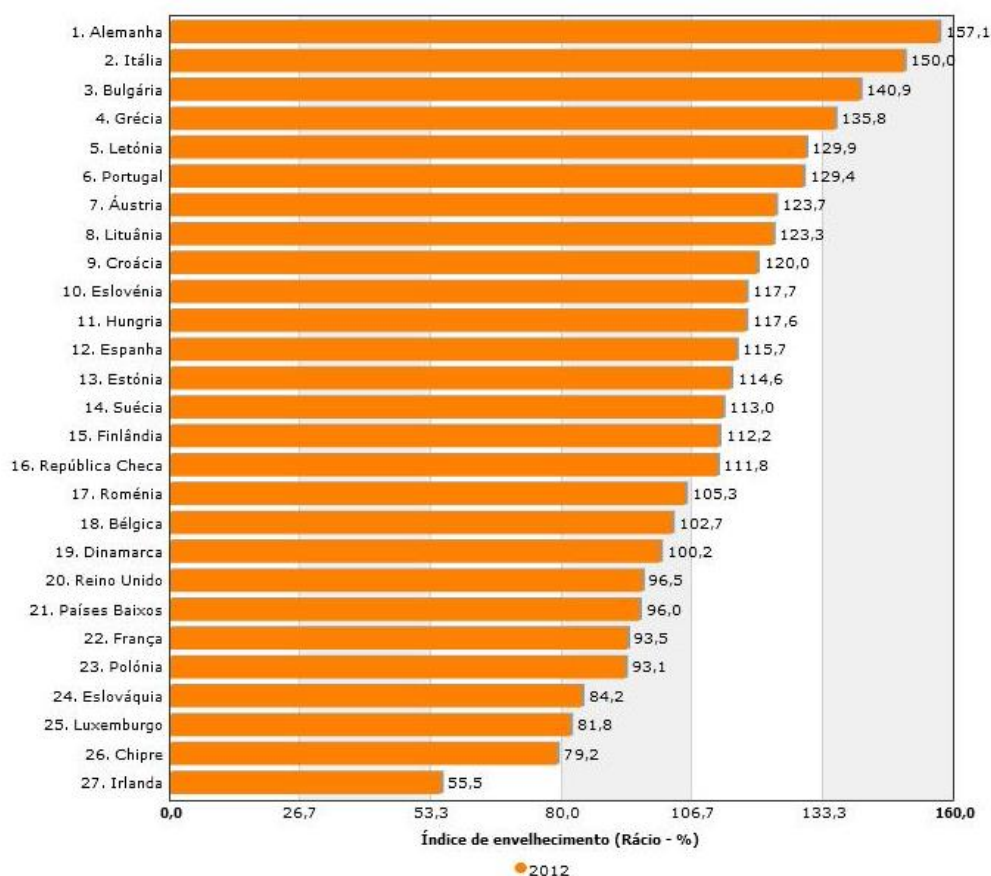


Figura 2.11 Índice de Envelhecimento (Pordata)

Com base neste cenário, o trabalho desempenhado pelas instituições de cariz social é fundamental. Deste modo através duma ferramenta disponibilizada pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento do Ministério da Solidariedade, Emprego e Segurança Social é possível recolher informação sobre todas as estruturas de apoio a idosos existentes, sobre a tutela deste ministério [3]. Com esta informação foi possível verificar o aumento destas estruturas nos últimos 15 anos, entre o ano 2000 e o ano 2013 estas estruturas quase que duplicaram, como é possível verificar na figura 2.12.

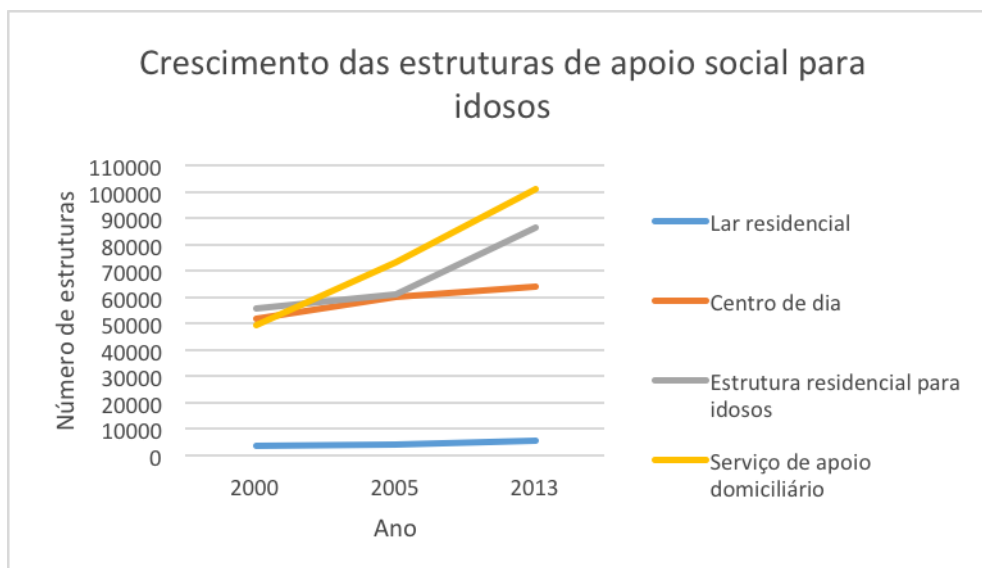


Figura 2.12 Estruturas de apoio social para idosos

3 Metodologia

A qualidade do ar interior depende, como foi referenciado anteriormente, de fatores como, a eficácia da ventilação e permeabilidade ao ar do edifício, as fontes de contaminação, o ambiente envolvente e a própria utilização e manutenção dos edifícios. Este capítulo irá debruçar-se sobre a seleção e caracterização dos edifícios, as técnicas utilizadas e os critérios de validação de resultados.

3.1 Seleção dos lares

No projeto GERIA, foram escolhidos aleatoriamente 33 lares na cidade de Lisboa. Contudo, no que concerne aos objetivos deste trabalho, nem todos os lares selecionados foram avaliados devido a erros na medição da concentração de dióxido de carbono, por parte dos aparelhos utilizados. Dado o exposto, a avaliação incidu apenas em 18 edifícios, num total de 95 quartos.

3.2 Caracterização dos edifícios

3.2.1 Monitorização do ambiente interior

Foram selecionados em cada lar, entre 1 a 5 quartos de dormir, para a realização de medições do teor de dióxido de carbono. Foi dada preferência aos quartos que apresentavam um maior potencial para uma qualidade de ar deficiente. Estas medições foram igualmente aplicadas no exterior dos lares.

As medições foram realizadas em duas campanhas, entre Novembro de 2013 e Março de 2014 e Abril e Julho de 2014. Estas foram efetuadas com recurso a um sensor de CO₂ marca HOB0.

As medições foram realizadas sempre pelo mesmo técnico, de modo a minimizar erros. Com isto, foram tomadas precauções de modo a que os aparelhos estejam sempre à mesma distância em relação ao pavimento, longe de fontes de perturbação (aparelhos de ar condicionado, aquecedores, condutas de ventilação ou outros aparelhos passíveis de alterarem significativamente os poluentes na sua vizinhança) ou ainda enclausurarem os mesmos no interior de qualquer peça de mobiliário, podendo desta forma tornar as leituras não representativas.

O registo das concentrações de CO₂ nos quartos de dormir, foram efetuados durante doze horas (período noturno), com intervalo entre registos de 1 segundo. Com isto obteve-se a evolução da concentração de CO₂ proveniente da respiração dos utentes. É de referir que este trabalho foi realizado procurando obter resultados representativos dos hábitos típicos diários dessas instituições, bem como minimizar os possíveis impactos nas rotinas das mesmas. Todavia, por motivos de avaliação das taxas de renovação, foi solicitado aos utentes e seus cuidadores que mantivessem as portas e janelas fechadas durante os períodos noturnos, algo que, como irá ser comprovado na análise presente na secção 4.3, não aconteceu em alguns casos.

Neste âmbito, o nível de concentração de CO₂ foi utilizado quer como indicador da poluição no ambiente interior, quer como meio indireto para a determinação de taxas de renovação de ar.

3.2.2 Levantamento das características dos edifícios

De modo a conhecer os parâmetros que poderiam condicionar a ventilação e a qualidade do ar interior, foi realizado um levantamento das características construtivas e de utilização de cada lar. O levantamento, acompanhado por registo fotográfico, foi subdividido em grupos temáticos relativamente aos quais foram definidas as seguintes características:

- Informação geral – identificação, caracterização genérica do edifício (tipo, número de pisos, implantação, ano de construção, ocupação, área total e área climatizada) e inserção (caracterização da zona envolvente e fontes de poluição);

- Envolvente do edifício – Paredes, cobertura, caixilharia (material, preenchimento, modo de abertura das folhas móveis e junta móvel) e proteção solar;
- Ventilação do edifício – Mecânica (VMC, local), natural (características de admissão e exaustão) e mista (características de admissão e exaustão);
- Climatização do edifício – Estratégia e combustível utilizado;
- Aquecimento de águas sanitárias – Tipo de aparelho e localização de aparelho;
- Cocção de alimentos – Local e combustível;
- Outras fontes de poluentes - Data da realização de obras de melhoramento das instalações e outras fontes de poluentes;
- Patologias relacionadas com o aparecimento de fungos e/ou bolores;
- Práticas dos utilizadores – Climatização (aquecimento e arrefecimento), ventilação (inverno, primavera/outono e verão);

3.3 Técnicas para determinação das taxas de ventilação

Com base nas medições das concentrações de dióxido de carbono, estimaram-se as taxas de ventilação para cada quarto. Apresenta-se na figura 3.1, a título ilustrativo, a evolução da concentração de CO₂ no interior de um quarto de dormir com a identificação das diferentes fases de evolução. A análise da figura 3.1. permite identificar as três fases típicas da evolução da concentração de CO₂ como a fase de crescimento, a fase quase-estacionária e a fase de decaimento.

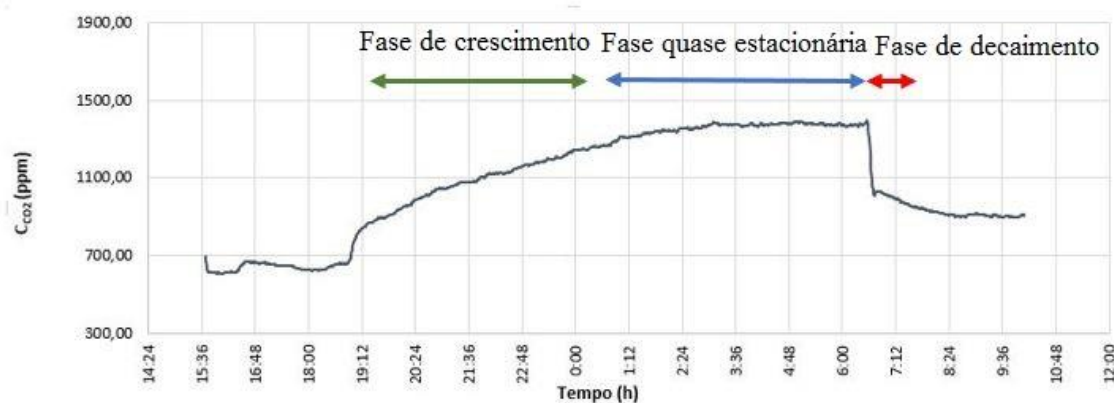


Figura 3.1 Evolução da concentração de CO₂ num quarto de dormir

3.3.1 Método do gás traçador

A determinação das taxas de ventilação nos quartos de dormir foi elaborada com recurso ao método do gás traçador. Este método consiste na medição de uma taxa de emissão tão constante, quanto possível, de um determinado gás ao longo do tempo, no interior de um compartimento [20].

Este método fundamenta-se na lei da conservação de massa do ar e do próprio gás traçador. Admite-se portanto que as seguintes condições são aproximadamente verificadas:

- A concentração do gás traçador é homogénea no espaço em estudo;
- Existe uma mistura perfeita e imediata entre o ar e o gás traçador;
- A produção do gás traçador não altera a massa do ar.

Admitindo ainda que a temperatura interior e a temperatura exterior do ar são constantes e uniformes, ou seja, que as respetivas massas volúmicas dos gases não variam no tempo, o balanço mássico pode ser expresso em termos de caudais volúnicos pela seguinte equação diferencial:

$$V \frac{dc}{dt} = G + \dot{V}(c_e - c) \quad (3.1)$$

A integração da equação 3.1 fornece a concentração interior no instante t:

$$c(t) = \left[\frac{\dot{V} \cdot c_e + G}{\dot{V} + G} \right] \cdot \left\{ 1 - e^{-\frac{(\dot{V} + G) \cdot t}{V}} \right\} + c_0 \cdot e^{-\frac{(\dot{V} + G) \cdot t}{V}} \quad (3.2)$$

Em que, V é o volume efetivo do espaço (m^3), \dot{V} é o caudal de ventilação (m^3s^{-1}), c_e é a concentração volúmica do contaminante no exterior (ppm), c_0 é a concentração volúmica do contaminante no interior no instante inicial (ppm), $c(t)$ é a concentração volúmica do contaminante no interior no instante t (ppm) e G é a taxa de geração de dióxido de carbono (m^3s^{-1}) [20].

3.3.2 Técnica da emissão constante

Para determinar as taxas de ventilação referentes à fase de crescimento nos quartos de dormir, foi aplicada a técnica da emissão constante. Esta medição começa no momento em que os utentes entram no quarto para pernoitar. Uma vez que, a emissão de CO_2 tem origem nos ocupantes, o êxito desta técnica depende da atividade dos mesmos. Esta é aplicada quando se observa o início do crescimento da concentração de CO_2 e termina quando a mesma atinge um patamar quase estacionário [20].

Ao considerar que a produção de CO_2 proveniente da respiração dos utentes é constante, obtém-se a equação 3.3, que caracteriza a fase de emissão constante:

$$C = \frac{(\dot{V} \cdot c_e + G)}{(\dot{V} + G)} \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{\dot{V} + G}{V}\right) \cdot t} \right] + c_0 \cdot e^{-\left(\frac{\dot{V} + G}{V}\right) \cdot t} \Leftrightarrow C = \frac{(\dot{V} \cdot c_e + G)}{(\dot{V} + G)} + \left[c_0 - \frac{(\dot{V} \cdot c_e + G)}{(\dot{V} + G)} \right] \cdot e^{-\left(\frac{\dot{V} + G}{V}\right) \cdot t} \quad (3.3)$$

Na aplicação desta técnica, foi calculada a concentração teórica do nível de dióxido de carbono existente no quarto, tendo como variáveis o caudal de ventilação (\dot{V}) e a taxa de geração de dióxido de carbono (G) (equação 3.3). Recorrendo ao método dos mínimos quadrados foi efetuado um ajustamento entre o valor teórico da concentração de CO_2 e o respetivo valor obtido por via experimental.

Nos casos onde não se verificou uma correspondência entre os resultados experimentais e os provenientes da concentração de CO_2 obtidos com recurso ao ajustamento de G e \dot{V} , optou-se pela realização de um nova iteração. tendo apenas como incógnita \dot{V} . O G neste caso, foi definido de acordo com a expressão 3.6.

A figura 3.3 ilustra a curva resultante da aplicação da técnica de emissão constante no quarto L05_3.

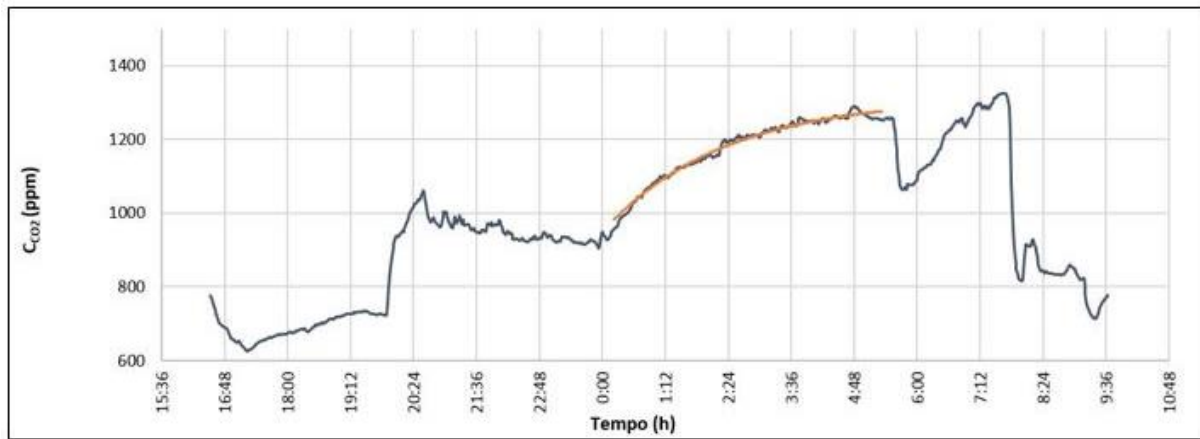


Figura 3.2 Ajustamento gráfico para a fase de crescimento

3.3.3 Técnica do decaimento

A técnica do decaimento destaca-se por ser aplicada no momento onde a produção de CO₂ termina, tal como é visível na figura 3.1 na fase de decaimento.

Visto que para a fase de decaimento a taxa de geração de CO₂ (G) é considerada nula. A equação 3.2 toma a forma:

$$C = C_e + [C_0 - C_e] \cdot e^{-\left(\frac{\dot{V}}{V}\right)t} \Leftrightarrow \left(\frac{C - C_e}{C_0 - C_e}\right) = e^{-\left(\frac{\dot{V}}{V}\right)t} \Leftrightarrow \ln(C - C_e) = \ln(C_0 - C_e) - \left(\frac{\dot{V}}{V}\right) \cdot t \quad (3.4)$$

No âmbito de aplicação desta técnica, a única variável desconhecida é o caudal de ventilação (\dot{V}). Neste caso, o caudal de ventilação foi obtido, de acordo com a equação 3.4. O restante procedimento é idêntico à técnica de emissão constante, vindo apenas a ser submetido à correspondente fase como é possível verificar na figura 3.1.

3.3.4 Técnica de regime estacionário

Esta técnica, também se baseia nos mesmos princípios das duas técnicas anteriores, sendo no entanto formulada a partir de uma média de concentrações durante um determinado intervalo de tempo (das 00:00 horas às 6:00 horas).

A técnica de regime estacionário, como o próprio nome indica, aplica-se à fase quase estacionária da evolução da concentração de CO₂. Nas condições de equilíbrio pode admitir-se que o tempo tende para infinito, assim substituindo ($t \rightarrow \infty$) na equação 3.2, a concentração para o regime estacionário é dada por:

$$C_\infty = \frac{(\dot{V} \cdot C_e + G)}{(\dot{V} + G)} \quad (3.5)$$

Das três técnicas utilizadas esta é a mais simples. Isto porque ao contrário das duas técnicas anteriores, esta recorre unicamente a uma média aritmética, proveniente das concentrações de dióxido de carbono na fase estacionária. Desta forma, esta técnica corresponde à medida de exposição média no interior dos compartimentos em estudo.

Com a concentração de CO₂ exterior e com a taxa de geração de dióxido de carbono estimada na equação 3.6, procedeu-se à determinação do caudal de ventilação (\dot{V}).

Os ajustamentos realizados pela técnica de regime estacionário e pela técnica do decaimento encontram-se nos Anexos II e III. Estes estão organizados de acordo com a estação climatérica e incluem os resultados determinados.

3.3.5 Cálculo da taxa de geração de dióxido de carbono (G)

O dióxido de carbono proveniente da ocupação humana, depende das características metabólicas de cada indivíduo. Esta estimativa pode ser obtida através da seguinte expressão [35]:

$$G_{CO_2} = (0,0094 \cdot A_{Du} \cdot M) \cdot N \quad (3.6)$$

Onde G_{CO_2} é o valor da taxa total de geração de CO₂ (m³.s⁻¹), M a taxa metabólica por ocupante (met) (1 met = 58,15W/m²), em função da atividade física do ocupante, N o número de ocupantes e A_{Du} área de Dubois [35] da superfície corporal (m²), dada pela expressão:

$$A_{Du} = 0,202 \cdot W_b^{0,425} \cdot H_b^{0,725} \quad (3.7)$$

Onde W_b é a massa corporal típica (Kg) e H_b a altura do corpo humano (m).

No caso em estudo, considerou-se um indivíduo com 70 quilogramas, 1,73 metros, e com uma taxa metabólica representativa do repouso ($M = 46 \text{ Wm}^{-2}$), resultando num G de 0,01192 m³/h [20].

Este cálculo tornou-se fundamental no âmbito deste trabalho, visto que seria impraticável determinar a taxa de geração de dióxido de carbono para cada utente sem perturbar o quotidiano dos mesmos e das

instituições. Quanto à estatura e peso considerados padrão serão alvo de uma análise de sensibilidade na secção 3.5.

3.4 Método estatístico de validação

De modo a avaliar quantitativamente os procedimentos de ajustamento aplicados na técnica da emissão constante e na técnica do decaimento, foi realizada uma análise estatística. Esta tem o objetivo de validar os resultados através da correlação dos valores das concentrações de CO₂ experimental e teórica. Para este fim, recorreu-se ao teste de Kolmogorov-Smirnov, teste não paramétrico com duas amostras independentes [46].

A aplicação deste teste exige que as variáveis X_1, \dots, X_m e Y_1, \dots, Y_n sejam aleatórias independentes de populações contínuas. Por outro lado, exige que as distribuições X e Y sejam mutuamente independentes, tanto para cada amostra como entre amostras [46]. Assumidas estas condições, X e Y têm como função de distribuição F e G , respetivamente. Assim, pretende-se averiguar se há diferenças entre as distribuições de probabilidade X e Y , através da hipótese nula H_0 . Isto é, as duas amostras são consideradas não representativas quando o nível de significância é inferior ao escolhido ($\alpha_{K-S} \leq 0,05$) contra a hipótese alternativa H_1 . Esta permite validar a relação entre distribuições e com isso aceitar as taxas de renovação horárias referentes aos quartos em questão:

$$H_1 : [F(t) \neq G(t) \text{ para pelo menos um valor}] \quad (3.8)$$

De modo a aplicar o teste de Kolmogorov-Smirnov é necessário obter a função de distribuição empírica para a amostra X e Y . Para qualquer número real t , temos [46]:

$$F_m(t) = \frac{\text{número de amostras } X \leq t}{m} \quad (3.9)$$

e

$$G_n(t) = \frac{\text{número de amostras } Y \leq t}{n} \quad (3.10)$$

Onde $F_m(t)$ e $G_n(t)$ são as funções de distribuição empírica para as amostras X e Y respetivamente.

A aplicação deste método foi realizado recorrendo à ferramenta estatística SPSS - Statistical Package for the Social Sciences, onde foram comparadas as concentrações de CO₂ experimentais e teóricas.

Considerando a concentração de CO₂ experimental a distribuição X e a concentração de CO₂ teórica a distribuição Y , averiguou-se as diferenças entre distribuições (hipótese nula rejeitada) [46]. O melhor ajustamento possível dá-se quando a concentração de CO₂ teórica é muito próxima da concentração de CO₂ experimental. Para cada par de distribuições de cada quarto, foi obtido através do teste de Kolmogorov-Smirnov, um determinado nível de significância o que rejeitaria a hipótese nula (H_0) ou aceitaria a hipótese alternativa (H_1).

Após a definição do teste estatístico, procedeu-se à aplicação do mesmo nos ajustamentos obtidos através da técnica da emissão constante e da técnica do decaimento.

A figura 3.3, do quarto L15_1, ilustra um caso onde a hipótese nula é rejeitada, ou seja, o ajustamento é válido. Esta conclusão foi obtida de acordo com o α resultante da aplicação do teste K-S ($\alpha = 0,105 \geq \alpha_{K-S} = 0,05$).

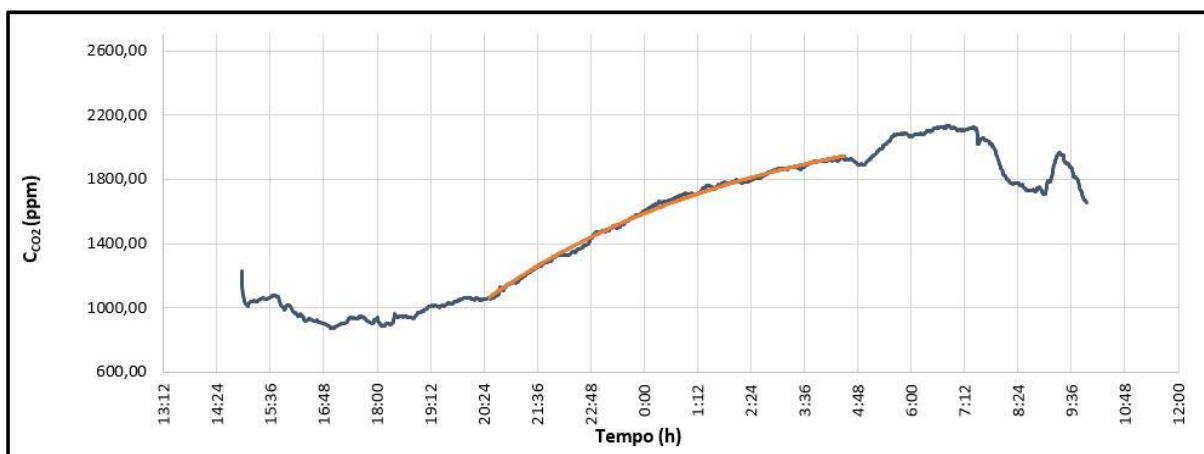


Figura 3.3 Ajustamento selecionado

Por outro lado, a figura 3.4, do quarto L0_2, apresenta um exemplo onde a hipótese nula não foi rejeitada. Esta conclusão foi obtida, uma vez que, $\alpha = 0,00$ portanto inferior a $\alpha_{K-S} \leq 0,05$.

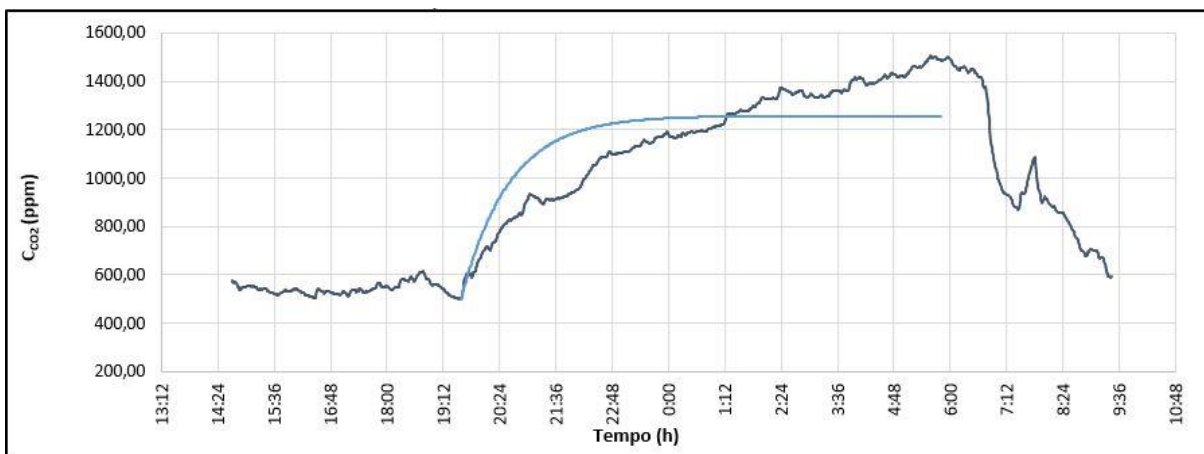


Figura 3.4 Ajustamento não selecionado

Na sequência da aplicação deste teste estatístico, no universo de 80 quartos, 26 quartos foram selecionados como válidos para a aplicação da técnica de emissão constante e 16 quartos foram selecionados para efeitos da aplicação da técnica do decaimento. A taxa de validação destes resultados foi de 33% para a técnica da emissão constante e 20% para a técnica de decaimento.

3.5 Análise de sensibilidade para a estimativa da taxa de geração de dióxido de carbono (G)

A taxa de geração de dióxido de carbono G é um parâmetro chave, pois depende da constituição e atividade física de cada indivíduo. Por sua vez, esta dependência condiciona o processo de cálculo das taxas de ventilação.

Com o intuito de avaliar o eventual erro associado à constituição física admitida neste trabalho, realizou-se uma análise de sensibilidade. Esta incidiu sobre vários pesos e alturas consideradas representativas da população idosa. Além disso, foi considerada uma outra atividade física, nomeadamente o estar sentado relaxadamente.

Assim, uma primeira abordagem foram realizadas simulações mantendo a altura como constante em 1,6 metros e variando a massa entre os 60 e os 110 quilogramas. Numa outra abordagem manteve-se a massa em 70 quilogramas e variou-se a altura entre 1,5 e 2 metros. Estas simulações foram realizadas quer no caso duma atividade física representativa do repouso (46 Wm^{-2}), quer assumindo uma atividade física representativa de estar sentado relaxadamente (58 Wm^{-2}). Desta forma constatou-se

que a menor taxa de geração de dióxido de carbono, cerca de 0,01072 m³/h, corresponde à pessoa como uma massa de 60 Kg e 1,6 metros de altura para o repouso. No extremo superior, com maior taxa de geração de dióxido de carbono, cerca de 0,01749 m³/h, situa-se a pessoa com uma massa de 110 Kg e uma altura de 1,6 m.

Neste sentido, o G obtido para um indivíduo com 110 Kg e uma altura de 1,6 m (conjugação peso/altura pouco provável) é 1,5 vezes superior ao valor G adotado. Assim, a probabilidade de maior erro no cálculo das taxas de ventilação, poderá relacionar-se com o peso dos utentes que mais se afaste, por excesso, do peso assumido como padrão (70Kg).

Os quadros resumo das simulações realizadas no âmbito desta análise de sensibilidade encontram-se no anexo I.

De salientar que durante a noite pode haver entrada de pessoal auxiliar no interior dos quartos, algo impossível de controlar. Noutros casos o número de utentes no interior dos quartos poderá ser inferior à informação disponível. Isto porque, durante as campanhas verificou-se que alguns idosos por vezes pernoitam em casa de familiares, ou na enfermaria dos lares em caso de mau estar. Estes fatores devem ser levados em conta aquando da interpretação dos resultados, por influenciarem diretamente o valor G.

3.6 Avaliação das incertezas de medição

Incetezas de medição

O cálculo de incertezas pelo Método Clássico é caracterizado fundamentalmente por dois grupos. Estes dependem do seu modo de avaliação, se por métodos estatísticos (Tipo A) ou por métodos não estatísticos (Tipo B). No primeiro caso, a incerteza é obtida a partir de uma função densidade de probabilidade derivada de uma distribuição de frequência observada nos resultados das medições. No segundo caso, a incerteza é obtida a partir de uma função densidade de probabilidade adotada com base numa distribuição de frequência que é admitida como provável pelo utilizador do aparelho. A incerteza utilizada neste trabalho foi do tipo B, uma vez que não havia informação estatística que permitisse aplicar o outro método [47].

Em geral os dados disponíveis são apenas referentes ao limite superior e limite inferior (ϵ_+ e ϵ_-) da medição. Neste caso, por ausência de outra qualquer informação, a estimativa do erro baseia-se na metade do valor da menor divisão da escala do aparelho. Por falta de conhecimento da distribuição das medições, assumiu-se uma distribuição retangular, a qual assume que o valor de medição é igualmente provável no intervalo de valores em estudo.

No caso de distribuição retangular dos valores possíveis, o valor esperado da medição x_i corresponde ao valor médio do intervalo:

$$x_i = \frac{1}{2} (\epsilon_+ + \epsilon_-) \quad (3.11)$$

e a sua variância a:

$$S^2(x_i) = \frac{1}{12} (\epsilon_+ + \epsilon_-)^2 \quad (3.12)$$

No entanto, quando $(\epsilon_+ + \epsilon_-) = 2\epsilon$, a expressão 3.15 simplifica-se e a variância é dada por:

$$S^2(x_i) = \frac{1}{3} \epsilon^2 \quad (3.13)$$

Sempre que é possível estabelecer uma função que relacione uma grandeza y, com as grandezas de entrada x_i do tipo:

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_i, x_n) \quad (3.14)$$

Onde a variância de y obtém-se pela expressão:

$$S^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{dF}{dx_i} \right)^2 S^2(x_i) \quad (3.15)$$

A expressão 3.15 tem como base uma aproximação de primeira ordem da expansão em série de Taylor. A incerteza combinada da grandeza y é obtida através do respetivo desvio-padrão $S(y)$ multiplicado por um fator k [47], que varia com intervalo de confiança exigido. Desta forma obtém-se a incerteza expandida, sob a expressão:

$$U(y) = k \sqrt{S^2(y)} \quad (3.16)$$

De acordo com as recomendações o fator k deve tomar o valor 2 [47].

Incerteza de cálculo para a técnica de regime estacionário e para a técnica do decaimento

No cálculo das incertezas, o método anteriormente descrito apenas pode ser aplicado às técnicas de regime estacionário e de decaimento. Para a técnica da emissão constante será necessário aplicar um método mais sofisticado, como por exemplo o método de Monte Carlo, o que se encontra para além do domínio desta dissertação.

Deste modo, conhecendo-se o limite inferior e superior de erro do aparelho, calculou-se a variância daí resultante de acordo com a expressão 3.13.

Para o cálculo da incerteza associada ao cálculo das taxas de ventilação (equação 3.5) para a técnica de regime estacionário obtém-se, de acordo com 3.14:

$$y = F(C, C_{ext}, G) = \frac{\frac{G(1-C)}{(C-C_{ext})}}{V} \quad (3.17)$$

Para o cálculo da variância de y , as derivadas parciais da função F são:

$$\frac{dF}{dG} = \frac{C-1}{(C_{ext}-C) \times V} \quad (3.18)$$

$$\frac{dF}{dC} = \frac{(C_{ext}-1) \times G}{(C-C_{ext})^2 \times V} \quad (3.19)$$

$$\frac{dF}{dC_{ext}} = \frac{-(C-1) \times G}{(C_{ext}-C)^2 \times V} \quad (3.20)$$

Definidas as derivadas parciais obteve-se a variância de y através da expressão 3.15. Por ultimo através da expressão 3.16 obteve-se a incerteza expandida.

No cálculo da incerteza associado à técnica do decaimento o procedimento é análogo ao anterior, sendo neste caso 3.14 igual a:

$$y = F(C, C_{ext}, C_0, t) = \frac{\frac{\ln \left(\frac{C-C_{ext}}{C_0-C_{ext}} \right)}{t}}{V} \quad (3.21)$$

Como tal as derivadas serão diferentes das anteriores, nomeadamente:

$$\frac{dF}{dC} = \frac{1}{(C-C_{ext}) \times t \times V} \quad (3.22)$$

$$\frac{dF}{dC_{ext}} = \frac{-(C_0-C)}{(C_{ext}-C) \times (C_{ext}-C_0) \times t \times V} \quad (3.23)$$

$$\frac{dF}{dC_0} = \frac{-1}{(C_0-C_{ext}) \times t \times V} \quad (3.24)$$

$$\frac{dF}{dt} = \frac{-\ln \left(\frac{C_{ext}-C}{C_0-C_{ext}} \right)}{t^2 \times V} \quad (3.25)$$

A incerteza expandida da técnica do decaimento foi obtida da mesma forma que a técnica do regime estacionário.

Note-se que em ambas as técnicas o volume do compartimento foi tratado como constante, pois para cada quarto este valor é fixo. Para o cálculo das incertezas foram escolhidos os quartos para o verão e inverno com valores de taxas de ventilação mais extremos.

Apresenta-se no quadro 3.1 as incertezas de cálculo obtidas.

Quadro 3.1 Incerteza das medições

Técnica	Valor	C _{CO2}	Variância (S ² (y))	Incerteza expandida (U)
Regime estacionário	Mínimo	689 ppm	0,36	1,21 h ⁻¹
	Máximo	2343 ppm	0,00001	0,0075 h ⁻¹
Decaimento	Mínimo	749 ppm	0,00691	0,1663 h ⁻¹
	Máximo	2260 ppm	0,00006	0,015 h ⁻¹

Incerteza do aparelho

O instrumento de medição e armazenamento de dados utilizado foi o HOBO U12 Logger, que se caracteriza pelas seguintes estimativas de incerteza expandida: para o CO₂ de UCO₂ = 62 ppm para uma medição de 1000ppm e UCO₂ = 175 ppm para uma medição de 3000 ppm e para a temperatura de UT = 1,16 °C. A figura 3.5 ilustra um exemplar do aparelho utilizado.



Figura 3.5 Equipamentos de medição

4 Análise de Resultados

Este capítulo dedica-se à exposição e análise de resultados, nomeadamente à caracterização dos edifícios, concentrações de CO₂, taxas de ventilação e uma análise gráfica de dispersão para a caracterização das caixilharias.

4.1 Caracterização das estruturas residências para pessoas idosas

Caracterização geral dos edifícios

Apresenta-se no quadro 4.1 a caracterização geral das ERPI em estudo. Neste quadro, inclui-se a idade das ERPI, o número de utentes, ano de reabilitação e o tipo de janelas.

Quadro 4.1 Caracterização geral das ERPI analisadas

Designação ERPI	Designação unidade funcional	Idade (anos)	Utentes	Ano reabilitação	Tipo de janelas
L01	-	4	39	2011	Correr, oscilobatente
L02	UNSG	365	125	N.d.	Oscilobatente
	UNSC				
	USL				
L04	-	60	23	2012	Basculante, batente, correr
L05	-	244	49	2012	Batente
L07	-	41	43	N.d.	Batente
L08	-	485	46	2012	Batente
L10	-	70	14	2007	Batente
L12	-	15	36	N.d.	Oscilobatente
L15	-	9	39	N.d.	Correr
L17	R.C	N.d.	332	N.d.	Correr
	A.S				
	D				
	P.C				
	A.C				
	R				
L19	-	70	16	2008	Batente
L20	-	20	44	N.d.	Batente
L22	-	365	46	N.d.	Batente
L23	-	80	47	N.d.	Batente
L24	-	19	48	2011	Correr
L25	-	66	49	2000	Basculante
L26	-	66	50	2009	Batente

Através da interpretação do quadro 4.1, constatou-se que apenas 3 lares foram construídos no presente século. Cerca de 10 são de construção anterior a 1950, entre os quais, 4 são anteriores ao século XVIII.

Apresenta-se nas figuras 4.1 e 4.2 a título ilustrativo dois dos edifícios estudados no âmbito deste trabalho. Na figura 4.1 ilustra-se uma ERPI de construção recente, enquanto na figura 4.2 apresenta-se um edifício adaptado para ERPI construído em 1615.



Figura 4.1 ERPI construída em 2011



Figura 4.2 Edifício adaptado para ERPI construído em 1615

A análise do quadro 4.1 permite ainda verificar que aproximadamente 55% dos edifícios, foram alvo de obras de reabilitação, desde o ano 2000. As intervenções tiveram como objetivo melhorar as condições e consequentemente aumentar o conforto aos seus utentes através da substituição dos vãos envidraçados. Aproximadamente 67% dos edifícios foram adaptados para ERPI.

Envolvente

A caracterização da envolvente das 13 ERPI estão definidas no quadro 4.2. Através deste, destacam-se 10 instituições localizadas no centro urbano e 3 na proximidade de vias de tráfego intenso. Estes fatores, contribuem fortemente para concentrações de CO₂ exterior elevadas. As medições das concentrações de CO₂ exteriores, realizaram-se à tarde entre Novembro de 2013 e Março de 2014, durante um período de 15 minutos (tempo necessário para a leitura no aparelho estabilizar).

Quadro 4.2 Envolvente das ERPI

Designação ERPI	Localização	Fontes de poluição	CO ₂ exterior (ppm)
L01	Arredor da cidade	Proximidade de vias com tráfego intenso	637
L02	Arredor da cidade	Sem fontes de poluição	567
L04	Interior da cidade	Sem fontes de poluição	610
L05	Interior da cidade	Proximidade de vias com tráfego intenso	547
L07	Interior da cidade	Sem fontes de poluição	555
L08	Interior da cidade	Proximidade de vias com tráfego intenso	657
L10	Interior da cidade	Sem fontes de poluição	567
L12	Interior da cidade	Proximidade de indústrias	557
L15	Interior da cidade	Sem fontes de poluição	557
L17	Arredor da cidade	Sem fontes de poluição	547
L19	Interior da cidade	Sem fontes de poluição	553
L20	Arredor da cidade	Sem fontes de poluição	574
L22	Interior da cidade	Sem fontes de poluição	563

Designação ERPI	Localização	Fontes de poluição	CO ₂ exterior (ppm)
L23	Arredor da cidade	Sem fontes de poluição	555
L24	Arredor da cidade	Sem fontes de poluição	590
L25	Arredor da cidade	Sem fontes de poluição	573
L26	Interior da cidade	Sem fontes de poluição	579

Caixilharia exterior

Apresenta-se no quadro 4.3 a caracterização dos vãos envidraçados das ERPI. No que concerne à caixilharia, muitas das portas e janelas foram substituídas por janelas de alumínio. Nalguns casos essa substituição é benéfica no que diz respeito à manutenção, diminuição das necessidades de aquecimento em estação de aquecimento. Contudo, a contribuição das infiltrações para a ventilação natural dos espaços é afetada, pois janelas e portas de alumínio mais correntes possuem, geralmente, baixa permeabilidade ao ar. Enquanto janelas e portas em madeira têm, correntemente, maior permeabilidade ao ar.

Quadro 4.3 Caracterização dos vãos envidraçados

Características		Frequência absoluta	Frequência relativa
Material da caixilharia	Madeira	20	26%
	Alumínio	57	74%
Tipo de folha móvel	Batente	30	39%
	Correr	23	30%
	Basculante	12	16%
	Oscilo-batente	12	16%
Tipo de vedantes das janelas	Sem vedantes	22	29%
	Com vedantes de borracha	28	36%
	Com vedantes de pelúcias	27	35%
Tipo de caixa de estore	Interior	29	38%
	Exterior	24	31%
	Sem caixa de estore	24	31%

No entanto, as condições de ventilação não variam apenas de acordo com o material utilizado na caixilharia. Antes pelo contrário, outros fatores como o tipo de folha móvel, o tipo de vedantes e a sua existência, a exposição ao vento e a localização da caixa de estore têm um maior peso na ventilação natural. A figura 4.3 ilustra dois exemplos do estado de conservação de duas janelas.



Figura 4.3 Caixilho em madeira em mau estado de conservação (esquerda) e janela de correr sem vedantes (direita)

Nos lares de idosos em estudo, 74% de quartos possuem janelas em alumínio e apenas 26% em madeira. Quanto ao tipo de folha móvel, 39% de quartos possuem janelas de batente e 30% janelas de correr, sendo que apenas 16% corresponde a quartos com janelas do tipo basculante e oscilobatente. Constata-se ainda a inexistência de vedantes nas janelas em 29% dos quartos, o que pode prejudicar o conforto dos utentes e alterar a dinâmica de ventilação de natural nesses compartimentos. Relativamente às caixas de estore, 38% localizam-se no exterior em dos quartos e 31% pelo interior, ainda outros 31% de quartos não possuem este tipo de dispositivo. No que concerne à ventilação dos espaços, a ausência de caixa de estore ou a sua localização pelo exterior têm o mesmo significado. Contudo, não significa que as janelas sem caixa de estore não possam ter outro tipo de proteção solar, pois há quartos com persianas ou outro tipo de dispositivo de proteção solar de menor importância para esta dissertação.

4.2 Análise dos resultados da concentração de dióxido de carbono

Apresenta-se nas figuras 4.4 e 4.5 a distribuição das concentrações de CO₂ recolhidas em 43 quartos no Inverno e 37 quartos no Verão. Os valores apresentados correspondem à fase de concentração estacionária de CO₂ e à concentração máxima de CO₂ registadas durante o período de medições.

No Inverno, foi possível verificar, 30 quartos com concentrações de CO₂ estacionário acima dos 1250 ppm, o que corresponde a 70% dos quartos. Para a concentração de CO₂ máximo, 38 quartos possuem concentrações superiores à regulamentação (>1250 ppm), o que corresponde a 88% dos quartos [35].

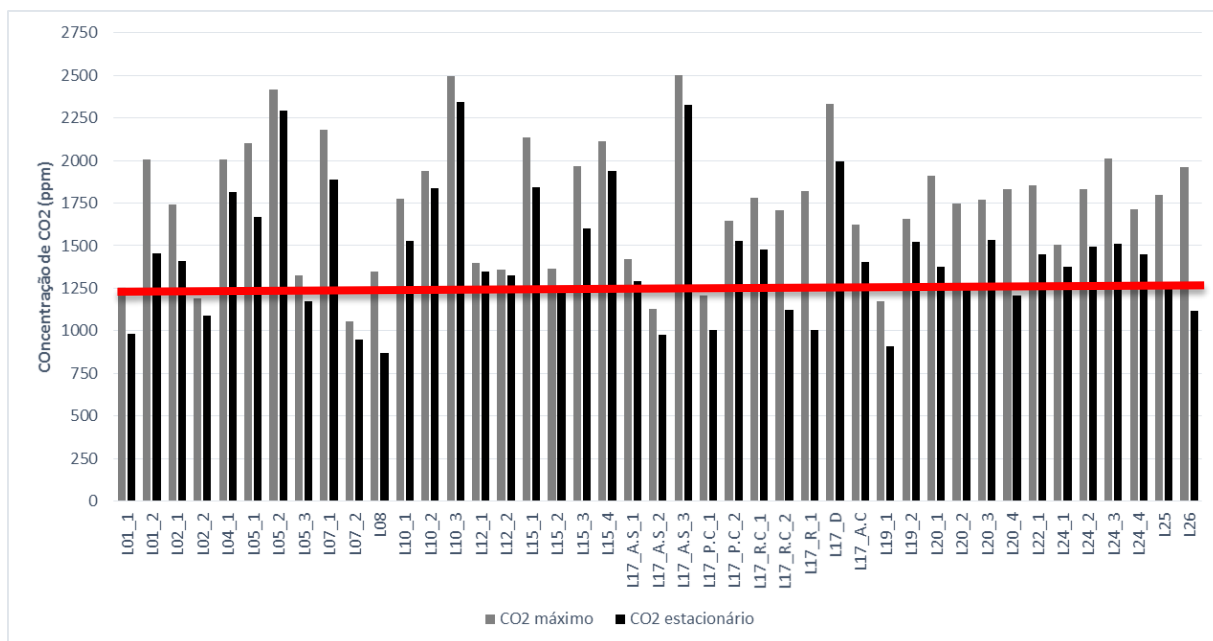


Figura 4.4 Valores da concentração de CO₂ nos 43 quartos no Inverno

No Verão, verificou-se, 17 quartos com concentrações de CO₂ estacionário acima dos 1250 ppm, o que corresponde a 54% dos quartos. Para a concentração de CO₂ máximo, 25 quartos possuem concentrações superiores à regulamentação, o que corresponde a 68% dos quartos. Esta diminuição generalizado de concentrações, entre estações climatéricas, era esperado e justifica-se pela maior tendência na abertura de janelas no Verão.

No quarto, L05_2, é possível verificar quer no Inverno, quer no Verão concentrações de CO₂ muito elevadas (2500 ppm), a justificação prende-se com o facto deste compartimento não possuir vãos em contacto com o exterior. Para os restantes quartos, em situação semelhante, os valores muito elevados podem ser causados pelo facto dos edifícios se encontrarem em zonas com obstruções significativas ao vento causadas pelas fachadas dos edifícios vizinhos.

Salienta-se que nem todos os quartos estão presentes nas duas estações. Este facto deve-se a erros nas medições, provocando a inexistência de certas concentrações de dióxido de carbono e por conseguinte nas taxas de ventilação.

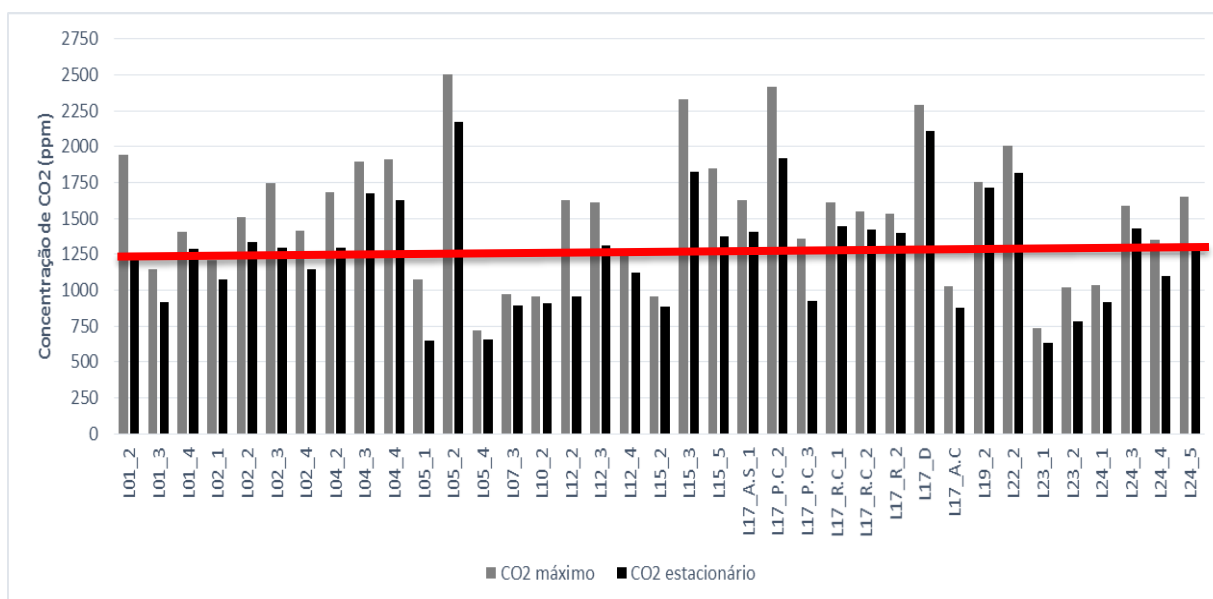


Figura 4.5 Valores da concentração de CO₂ nos 37 quartos no Verão

4.3 Análise dos resultados das taxas de ventilação

Resultados das taxas de ventilação

As taxas de ventilação obtidas resultaram da aplicação das técnicas de emissão constante, decaimento e regime quase-estacionário.

Resultados da técnica de emissão constante

Apresenta-se nas figuras 4.6 e 4.7 as taxas de ventilação, determinadas segundo a técnica de emissão constante, para 16 quartos de dormir na estação de aquecimento e 9 quartos de dormir na estação de arrefecimento.

Salienta-se que para a análise que se segue representar apenas dados da técnica de emissão constante para duas incógnitas (G e \dot{V}). Esta opção foi tomada devido à reduzida taxa de validação do teste estatístico para os resultados desta técnica com uma incógnita (\dot{V}), onde para o Verão foram validadas 2 taxas de ventilação e 4 para o Inverno. Deste modo, a fraca taxa de validação para a técnica com uma incógnita face à técnica com duas constitui por si só um forte indicador sobre a validade dos ajustamentos realizados na introdução da nova variável G .

Para a estação de aquecimento, figura 4.6, constatou-se 5 quartos com taxas de ventilação inferiores à regulamentação nacional ($0,4 \text{ h}^{-1}$) [35]. Entre estes, destacam-se 3 quartos (L15_2; L15_3 e L17_D) com taxas de ventilação francamente baixas ($< 0,20 \text{ h}^{-1}$). Estes resultados podem partilhar a justificação atribuída às concentrações de CO_2 mais elevadas, ou seja, o facto destes edifícios se encontrarem em zonas com obstruções significativas ao vento provocadas pelas fachadas dos edifícios vizinhos. Deste modo, a relação entre taxa de ventilação e concentração de CO_2 torna-se evidente, pois taxas de ventilação baixas estão normalmente associadas a concentrações de CO_2 , ou outros poluentes, elevadas e vice versa.

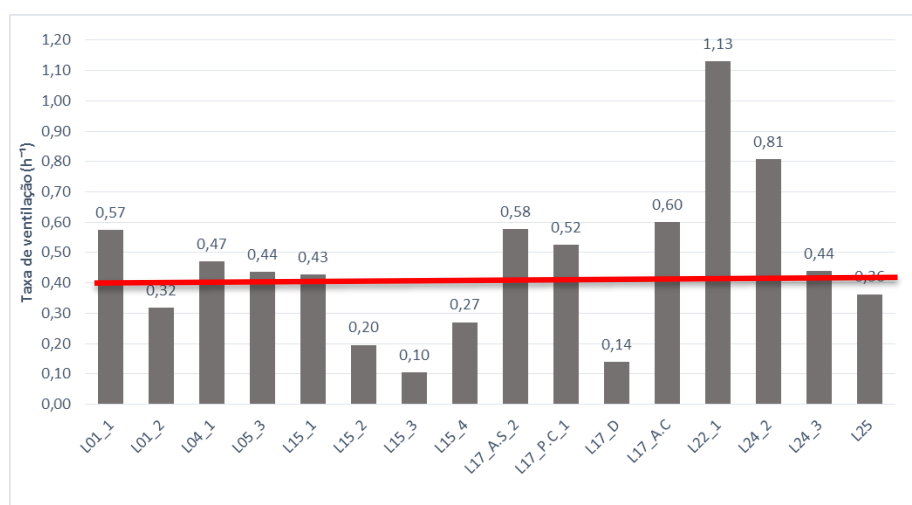


Figura 4.6 Valores das taxas de ventilação segundo a técnica de emissão constante (Inverno)

Para a estação de arrefecimento, figura 4.7, 7 dos 10 quartos possuem taxas de ventilação inferiores ao mínimo exigido pela regulamentação portuguesa. Uma vez mais, estes resultados podem ser justificados por possíveis obstruções ao vento dos edifícios vizinhos sobre os edifícios em estudo. Não obstante, ao quarto de dormir L17_D corresponde uma taxa de ventilação próxima do valor zero, algo difícil de justificar com a informação disponível. Contudo, pode ser um exemplo inerente à dificuldade de calcular taxas de ventilação com base em dados recolhidos num período sobre o qual não há a certeza se os pressupostos para aplicação destas técnicas são respeitados. Como por exemplo, se o número de pessoas no quarto é o disponibilizado no levantamento ou se as janelas e portas estão devidamente fechadas, conforme solicitado.

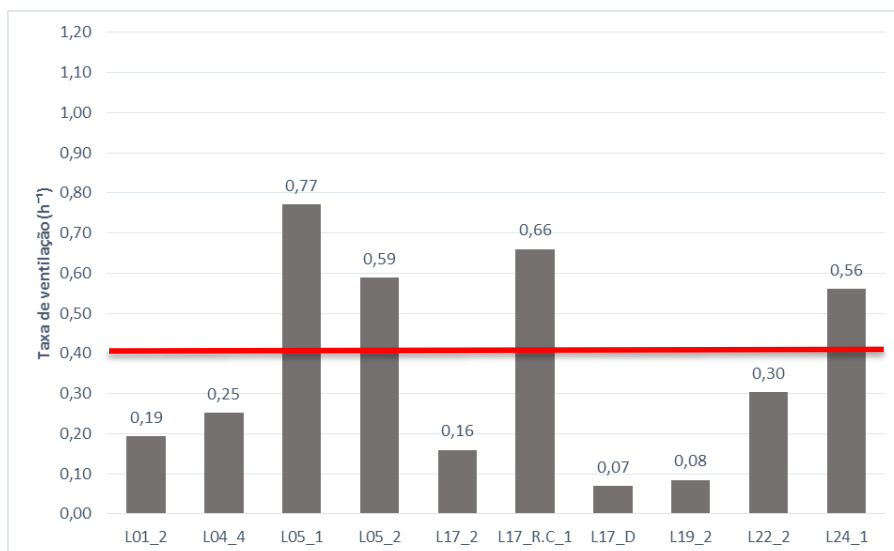


Figura 4.7 Valores das taxas de ventilação segundo a técnica de emissão constante (Verão)

Resultados da técnica do decaimento

Apresenta-se nas figuras 4.8 e 4.9 taxas de ventilação, segundo a técnica de decaimento, para 11 quartos de dormir para o Inverno e 12 para o Verão.

Salienta-se que as taxas de ventilação determinadas pela técnica de decaimento, são obtidas no momento em que se dá a cessação da produção de CO₂, normalmente associado à saída dos utentes dos quartos, abertura de portas ou janelas. Deste modo, estas taxas de ventilação não são representativas das condições de ventilação globais.

Em relação aos resultados de Inverno, figura 4.8, o quarto L17_P.C_1 apresenta uma taxa de ventilação muito superior às restantes. A justificação para estes valores pode relacionar-se com a abertura da porta dos quartos, algo provável visto que, as quebras repentinas da concentração de CO₂ verificaram-se, na maioria dos casos, entre as hora mais prováveis para o acordar dos utentes.

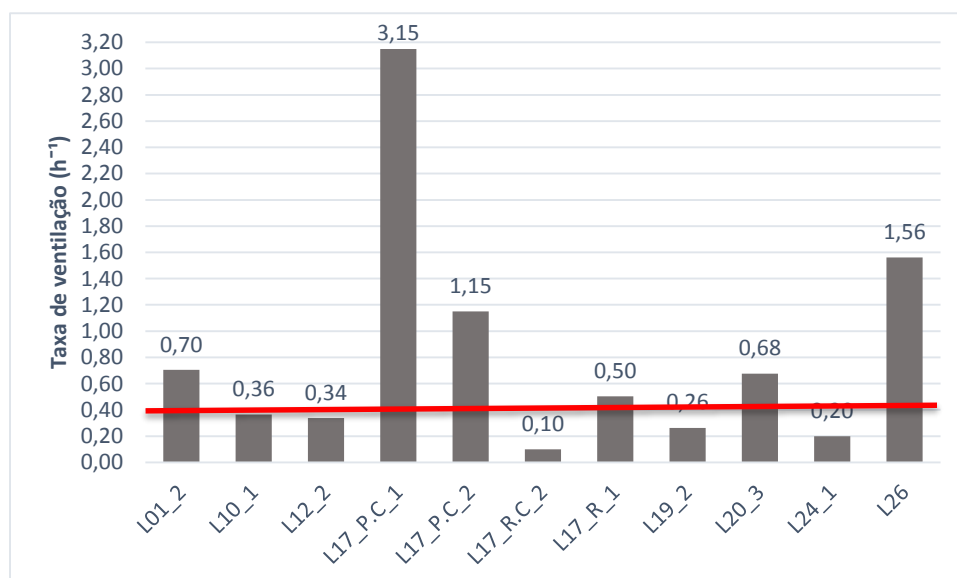


Figura 4.8 Valores das taxas de ventilação segundo a técnica de decaimento (Inverno)

Para os resultados da estação de arrefecimento, figura 4.9, o quarto L17_P.C_1 apresenta um valor muito superior. A justificação para este facto prende-se com a possível abertura de janela ou porta durante o período de medições.

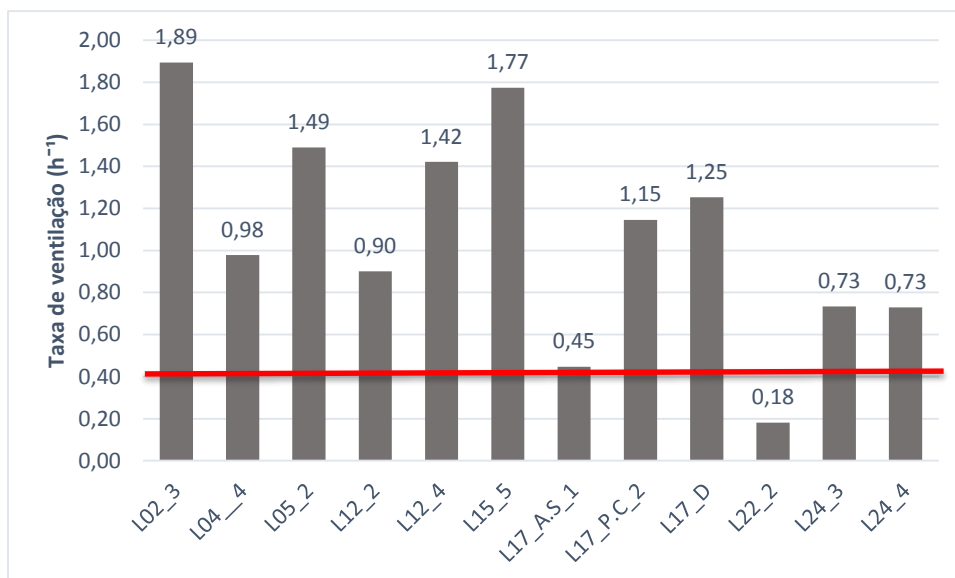


Figura 4.9 Valores das taxas de ventilação segundo a técnica de decaimento (Verão)

Resultados para a técnica de regime quase-estacionário

Os resultados das taxas de ventilação, obtidos através da técnica de regime quase-estacionário, ao contrário das duas técnicas anteriores, não foram alvo de qualquer teste estatístico para a sua validação. Recorde-se que estes resultados são provenientes de uma média aritmética das concentrações de CO₂ da fase quase estacionária, pelo que, não é viável a aplicação do teste estatístico. Contudo, estes resultados constituem a medida de exposição média no interior dos quartos.

Apresenta-se nas figuras 4.10 e 4.11 taxas de ventilação, segundo a técnica de regime estacionário, para 43 quartos de dormir na estação de aquecimento e 36 quartos de dormir na estação de arrefecimento.

Para os resultados obtidos durante o Inverno, figura 4.10, 10 quartos possuem taxas de ventilação inferiores à regulamentação nacional. Destacam-se ainda 4 quartos com taxas de renovação acima de 1,5 h⁻¹ (L01_1; L17_P.C_1; L22_1 e L26). Uma possível justificação para este facto prende-se com a possível abertura da porta dos quartos, isto porque, a fase estacionária da concentração de CO₂ verifica-se entre as 00:00 e as 6:00 horas, período em que os auxiliares efetuam uma ronda pelos quartos e onde alguns utentes deslocam-se às instalações sanitárias.

Relativamente aos resultados obtidos durante o Verão, figura 4.11, 8 quartos possuem taxas de ventilação inferiores a 0,4 h⁻¹. Em sentido contrário, os quartos L05_1, e L17_P.C_3 manifestam taxas de ventilação ligeiramente superiores a 3 h⁻¹, o que sugere a permanência de janelas abertas. Ao analisar o tipo de folha móvel das janelas destes quartos, apenas o L17_P.C_3 possui janelas que permitem controlar facilmente a abertura do vão (janela de correr), podendo esta permanecer entreaberta durante largos períodos sem causar desconforto, promovendo um possível incremento nas taxas de ventilação.

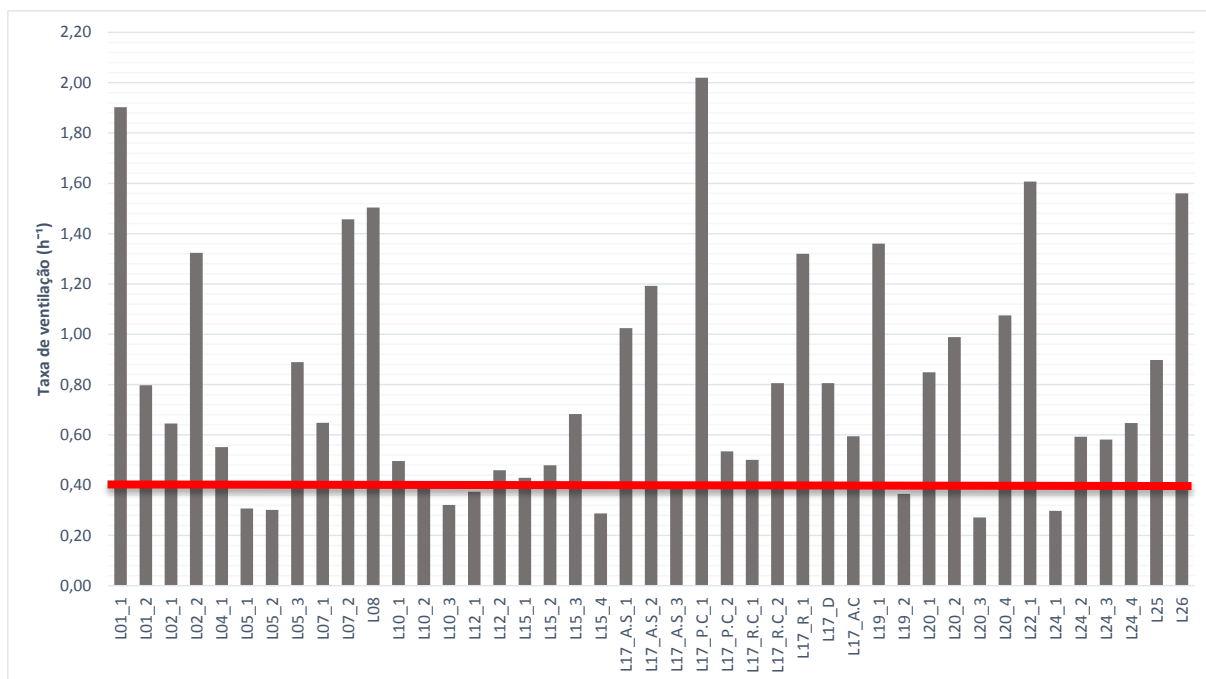


Figura 4.10 Valores das taxas de ventilação segundo a técnica de regime quase-estacionário (Inverno)

Em termos médios, no Inverno a taxa de ventilação nas ERPI é de $0,8 \text{ h}^{-1}$ e no Verão $0,97 \text{ h}^{-1}$. Esta constatação, partilha da mesma justificação já utilizada anteriormente, nomeadamente sugere a prática de um maior arejamento dos quartos na estação de arrefecimento através da abertura das janelas.

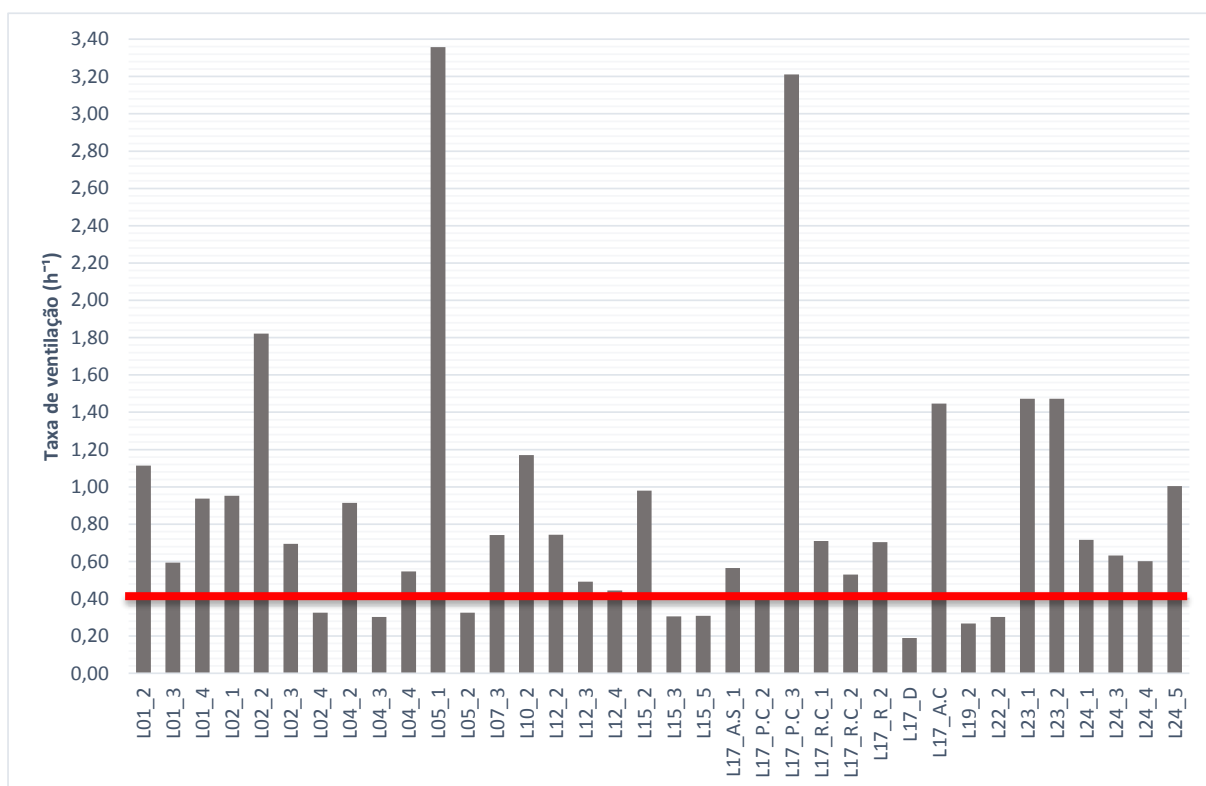


Figura 4.11 Valores das taxas de ventilação segundo a técnica de regime quase-estacionário (Verão)

Nos anexos II e III, estão presentes os gráficos provenientes dos ajustamentos assim como os resultados obtidos através da aplicação das três técnicas utilizadas.

4.4 Análise da distribuição de resultados da concentração de CO₂ de acordo com a caixilharia

A análise da distribuição de resultados das concentrações de CO₂ realizou-se para os resultados da secção 4.2. Estes dados são apresentados por diagramas de caixa e bigodes onde constam média, mediana, percentis 25 e 75, máximos e mínimos e extremos.

Apresenta-se no quadro 4.4 a caracterização dos vãos envidraçados utilizados nesta análise. Este pretende chamar atenção para a dimensão das amostras, pois qualquer conclusão terá de ser contextualizada de acordo com o número de ocorrências para cada componente do caixilho. Para além disto, testes estatísticos realizados para as diferentes caracterizações demonstraram não haver diferenças, há exceção da concentração de CO₂ em função do material do caixilho para a estação de Inverno (figura 4.12). Contudo, em termos físicos existem diferenças as quais merecem reflexão.

Quadro 4.4 Caracterização dos vãos envidraçados

Frequência	Tipo	Inverno		Verão	
		Absoluta	Relativa	Absoluta	Relativa
Material	Alumínio	31	84%	27	87%
	Madeira	6	16%	4	13%
Vedantes	Sem	7	19%	6	19%
	Borracha	11	30%	10	32%
	Pelúcias	19	51%	15	48%
Tipo de folha móvel	Oscilobatente	2	5%	5	16%
	Basculante	10	27%	5	16%
	Batente	10	27%	9	29%
	Correr	15	41%	12	39%
Caixa de estore	Sem	19	51%	8	42%
	Com	18	49%	11	58%

Resultados da distribuição das concentrações de CO₂ para o Inverno

Na figura 4.12, verifica-se que a média da concentração de CO₂ estacionário nos quartos com janelas de alumínio é 300 ppm superior aos quartos com janelas de madeira. Conforme foi referido na caracterização das ERPI, este facto justifica-se pela maior permeabilidade ao ar das janelas de madeira. A elevada dispersão de resultados para o alumínio deve-se à maior presença deste material na maioria dos quartos. Ainda, segundo testes estatísticos, foram verificadas diferenças para esta distribuição, pelo que, esta distribuição poderá ter uma maior importância em relação às restantes.

Nas figuras 4.12 a 4.19, pequenos pontos designados por outliers correspondem a resultados cujo seus valores são considerados atípicos dentro da variação da variável em estudo no diagrama de caixa e bigodes.

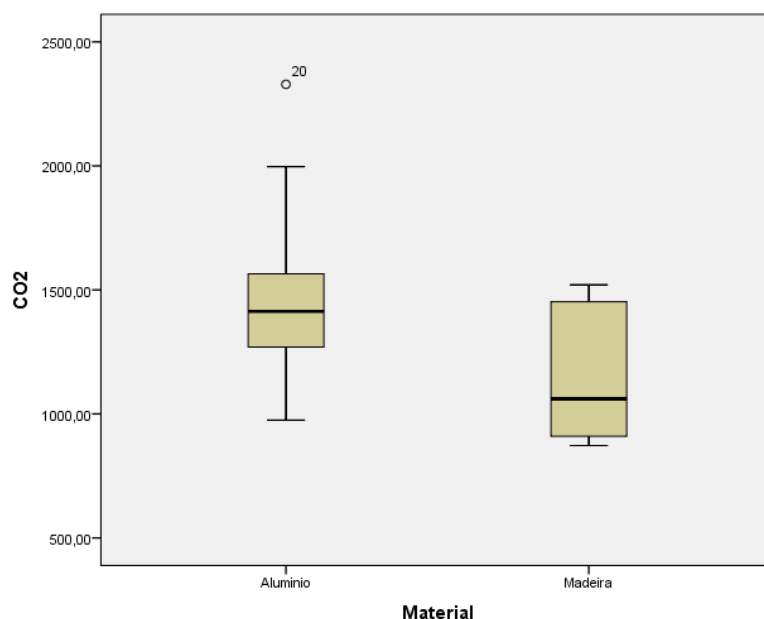


Figura 4.12 Concentração de CO₂ em função do material do caixilho

A figura 4.13 ilustra a relação entre a concentração de CO₂ e os vedantes. A ausência destes, em média demonstra que os respetivos quartos possuem concentrações menores em relação aos restantes. Isto provavelmente devido à maior permeabilidade ao ar permitida pela ausência de vedantes. Assim, apesar destes manifestarem concentrações de CO₂ baixas não significa que isso seja necessariamente positivo, isto porque, a maior dispersão de resultados sugere falta de controlo no ar admitido nesses compartimentos, podendo com isso causar desconforto aos ocupantes. Em relação aos vedantes, o mais esperado seria as pelúcias manifestarem uma média de concentrações inferior aos vedantes de borracha. Contudo, como as janelas estão sujeitas a diferentes condições de exposição ao vento e utilização aceita-se esta diferença.

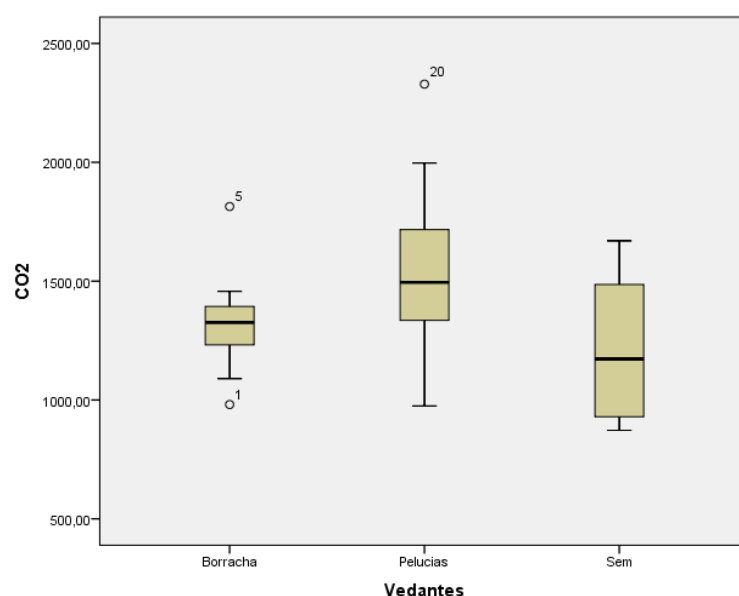


Figura 4.13 Concentração de CO₂ em função do tipo de vedante

Em relação ao tipo de folha móvel, figura 4.14, chama-se atenção para esta análise incluir apenas 2 janelas do tipo oscilobatente. Contudo, apresenta concentrações de CO₂ menores em relação aos restantes tipos de janela provavelmente devido à sua tecnologia mais moderna e eficiente. A janela tipo basculante é a segunda com menores concentrações de CO₂, uma justificação para este facto prende-se com a capacidade que estas janelas possuem para permanecerem abertas sem causar desconforto, permitindo a abertura por períodos de tempo mais alargados, inclusive no Inverno. Os outros tipos de janela, apesar de resultados médios idênticos, manifestam dispersões contrárias. A

janela de correr, mostra uma dispersão de valores superiores à mediana, o que poderá dever-se à capacidade desta permanecer entreaberta sem causar incómodo. Por outro lado, as do tipo batente, devido ao obstáculo que a abertura das folha móvel cria e a incapacidade de controlar a abertura do vão faz com que estas estejam fechadas durante mais tempo, tendo por isso uma dispersão de concentrações de CO₂ menores à mediana.

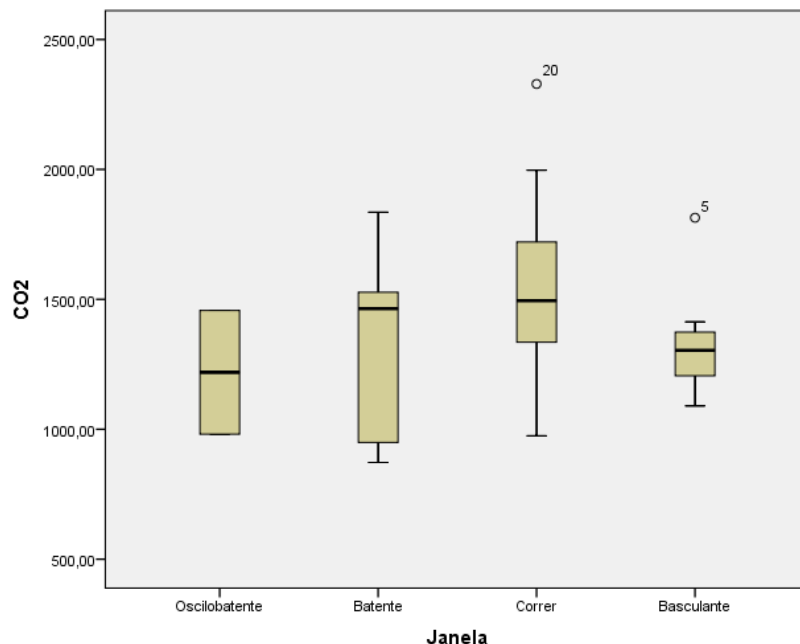


Figura 4.14 Concentração de CO₂ em função do tipo de folha móvel

A figura 4.15 apresenta a relação de concentrações de CO₂ em função da presença da caixa de estore. Atendendo ao tipo de construção de caixas de estore em Portugal, seria de esperar resultados com concentrações de CO₂ mais baixas nos quartos com caixa de estore em relação aos quartos que não as possuem. Contudo, verificou-se um equilíbrio entre resultados de quartos com e sem caixa de estore. Uma justificação para este facto pode dever-se à influência que a exposição ao vento possui na ventilação natural.

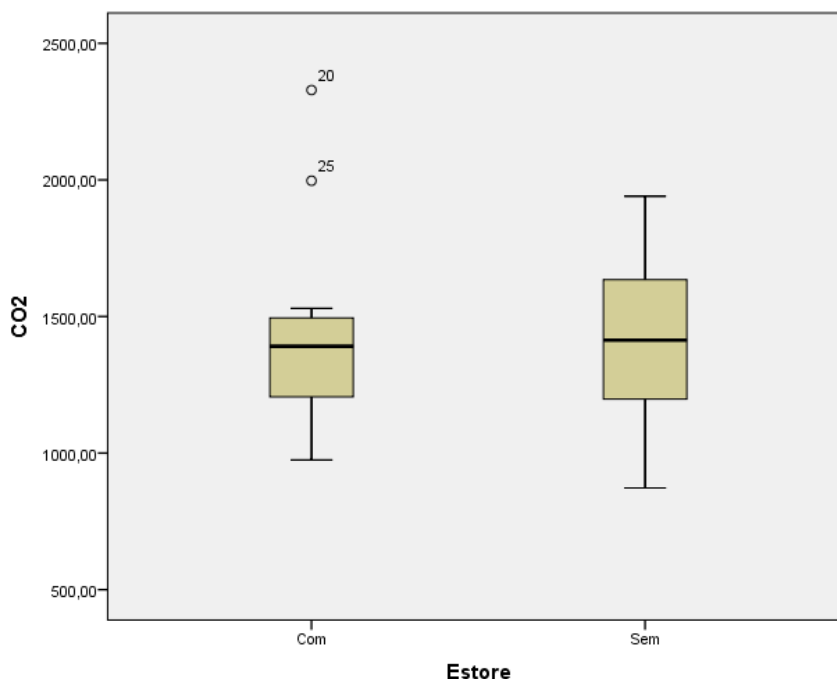


Figura 4.15 Concentração de CO₂ em função da presença de caixa de estore

Resultados da distribuição das concentrações de CO₂ para o Verão

A análise à distribuição de resultados das concentrações de CO₂ dos vãos envidraçados para a estação de arrefecimento reduz-se a muito pouco. Isto porque as figuras 4.16 a 4.19 são esclarecedores em demonstrar, pelas concentrações de CO₂ médias, que as janelas estiveram abertas durante o período de leituras. Este facto torna-se evidente pela partilha de 1400 ppm de CO₂ nos diversos diagramas de caixa e bigodes.

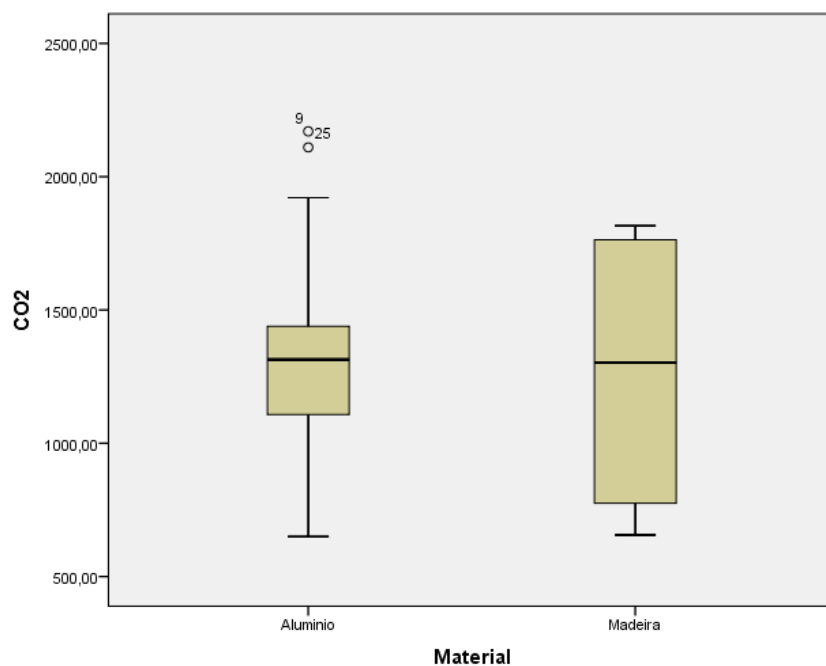


Figura 4.16 Concentração de CO₂ em função do material do caixilho

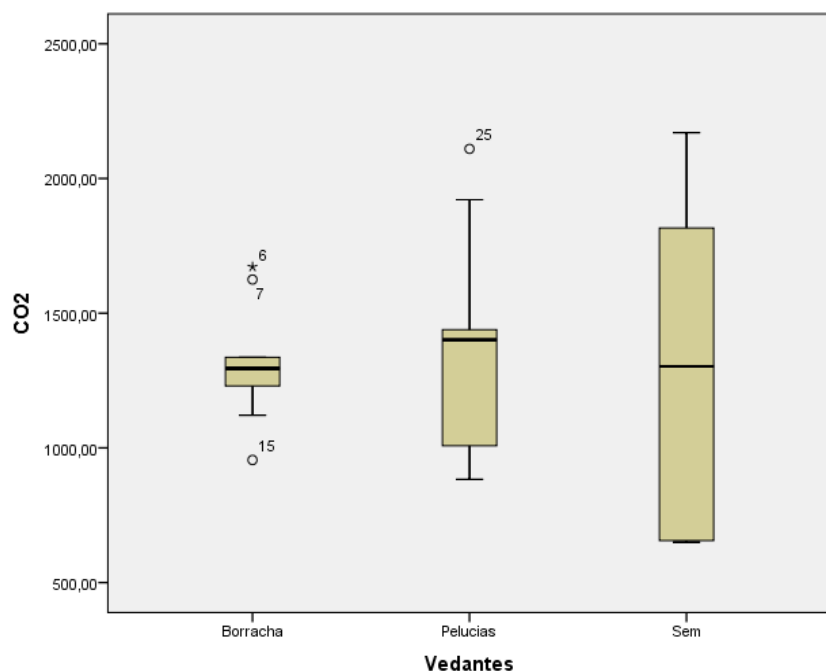


Figura 4.17 Concentração de CO₂ em função do material do tipo de vedantes

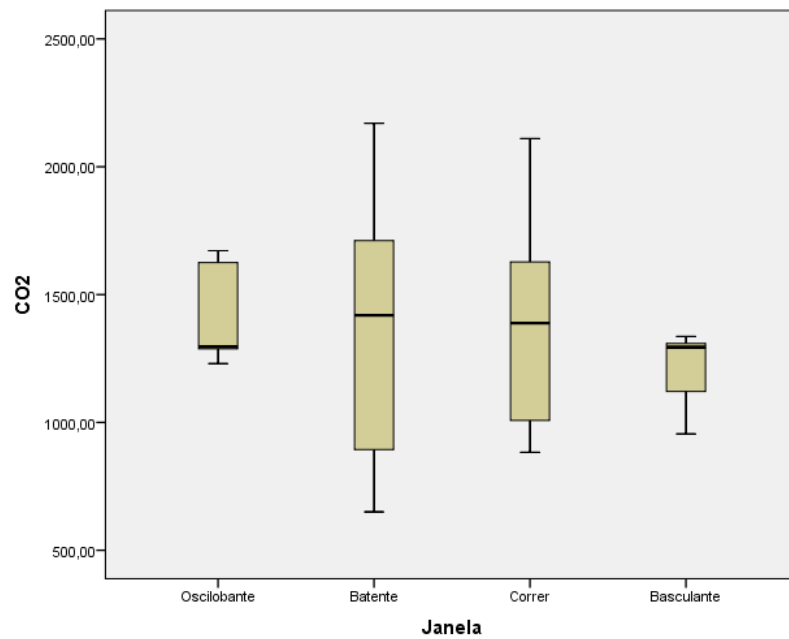


Figura 4.18 Concentração de CO₂ em função do tipo de folha móvel

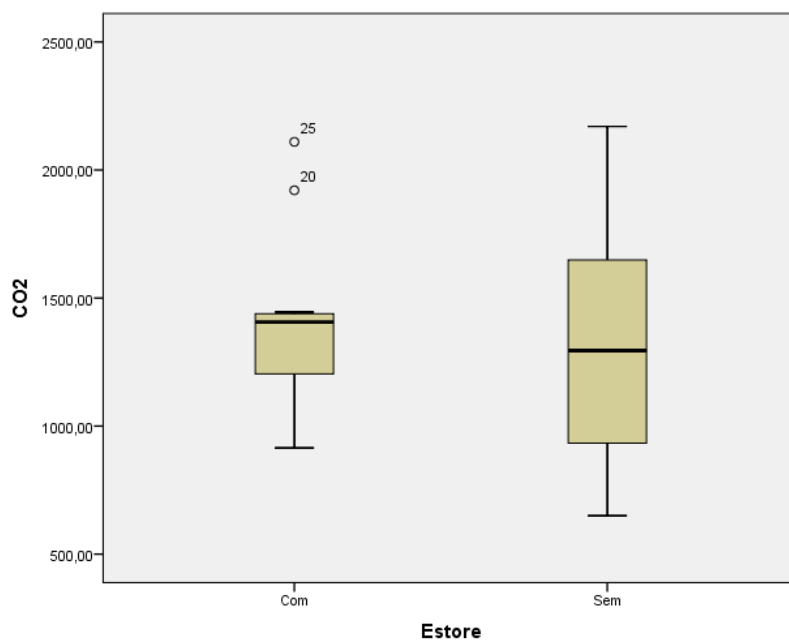


Figura 4.19 Concentração de CO₂ em função da presença da caixa de estore

4.5 Análise comparativa entre os resultados das taxas de ventilação através da técnica da emissão constante e da técnica de perfluorocarbonos

O diagrama em caixa e bigodes da figura 4.20 pretende comparar os resultados obtidos no âmbito deste trabalho através da técnica da emissão constante, com os resultados obtidos a partir da técnica de perfluorocarbonos (PFTs), realizada num estudo a decorrer em paralelo no âmbito do mesmo projecto [18]. Esta técnica consiste na colocação de cápsulas PFTs emissoras e recetoras nos compartimentos que se pretende analisar, durante um período dedicado às medições de duas semanas. Ao fim deste período, as cápsulas são analisadas em laboratório, onde através da quantidade de gás recolhido durante a exposição, são estimadas taxas de ventilação. A estimativa de precisão, fornecida pelo laboratório, aponta para um intervalo de confiança de 90%.

Salienta-se que, a análise comparativa pretende averiguar se os resultados obtidos a partir de técnicas com períodos de medição *in situ* diferentes estão compreendidas entre os mesmos valores, e não avaliar a validade das taxas de ventilação obtidas numa ou noutra técnica.

Ao analisar a figura 4.20 verifica-se que os valores médios para a taxa de ventilação correspondente à técnica dos PFTs é inferior à regulamentação nacional. Isto significa que as taxas de ventilação obtidas pela técnica de PFTs na sua globalidade não é adequada. Contudo, os resultados médios das taxas de ventilação obtidos pela técnica da emissão constante, para os mesmos quartos, mostram o contrário. Este facto prende-se com a diferença no período de medições, assim conclui-se que durante a noite as taxas de ventilação são adequadas mas na sua globalidade não o são.

A figura 4.20 ilustra ainda que as taxas de ventilação obtidas pela técnica de emissão constante estão compreendidas na mesma gama de valores das taxas de ventilação obtidas pela técnica de PFTs (0,14 h⁻¹ a 0,8 h⁻¹), com exceção para o quarto L22_1. Este facto poderá dever-se à abertura de uma porta ou janela durante o período de medições.

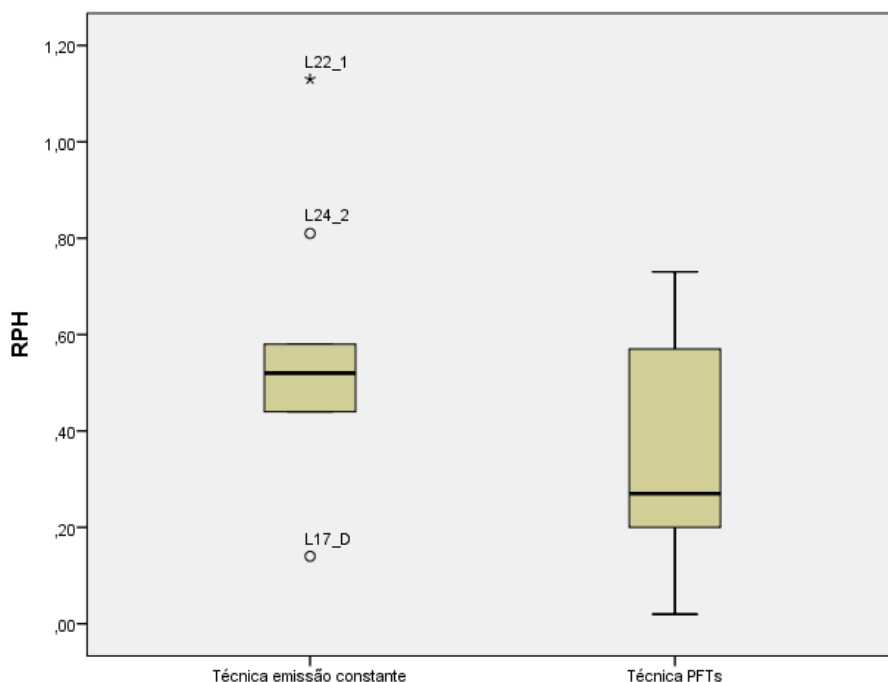


Figura 4.20 Comparação entre resultados de taxas de ventilação para técnicas diferentes

4.6 Análise comparativa entre os resultados das taxas de ventilação e concentrações de CO₂ com outro estudo

Apresenta-se na figura 4.21 a comparação através de diagramas de caixas e bigodes das concentrações de CO₂ estacionário e taxas de ventilação obtidas num estudo realizado também para ERPI na cidade de Lisboa [48].

O período de medições realizou-se entre Outubro e Dezembro de 2012, pelo que apenas serão comparados os resultados referentes ao Inverno. Nesse estudo, foram seleccionados 10 ERPI (designados ECC na figura 4.21), onde foram realizadas medições num quarto de dormir por cada edifício. Foi também escolhido, para o cálculo das taxas de ventilação, o método do gás traçador, nomeadamente a técnica do regime quase-estacionário, onde o CO₂ proveniente da ocupação humana foi igualmente utilizado como gás traçador.

Ao analisar a figura 4.21 observa-se que as concentrações de CO₂ estacionário na sua globalidade são superiores às concentrações de CO₂ obtidas no estudo realizado por Almeida-Silva. A justificação para esta ocorrência prende-se provavelmente com o facto das medições realizadas no estudo de Almeida-Silva terem sido realizadas também durante a tarde. Deste modo, a concentração de CO₂ referente ao período da tarde manifesta-se com a diminuição da concentração de CO₂ estacionário.

Na análise efetuada entre os dois estudos inclui-se 40 ERPI e 10 ECC.

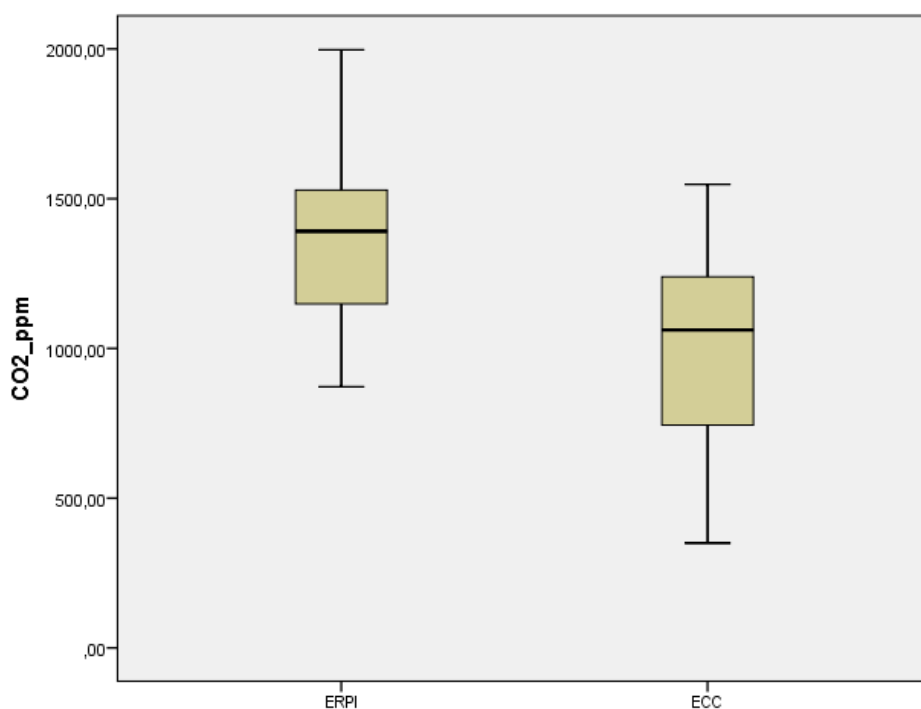


Figura 4.21 Comparação entre resultados de concentrações de CO₂ para estudos diferentes

Apresenta-se na figura 4.22 os resultados das taxas de ventilação determinadas em ambos os estudos pela técnica do regime quase-estacionário. Nesta figura, observa-se que em ambos os estudos as taxas de ventilação estão compreendidos, maioritariamente, entre 0,2 h⁻¹ e 2 h⁻¹. Em média as taxas de ventilação dos dois estudos cumprem a regulamentação nacional. A tendência para taxas de ventilação superiores no estudo de Almeida-Silva, deve-se ao facto das medições de CO₂ também terem ocorrido durante a tarde, período pelo qual se prevê concentrações de CO₂ mais baixas. Assim, como é sabido para concentrações de CO₂ estão associadas taxas de ventilação mais elevadas.

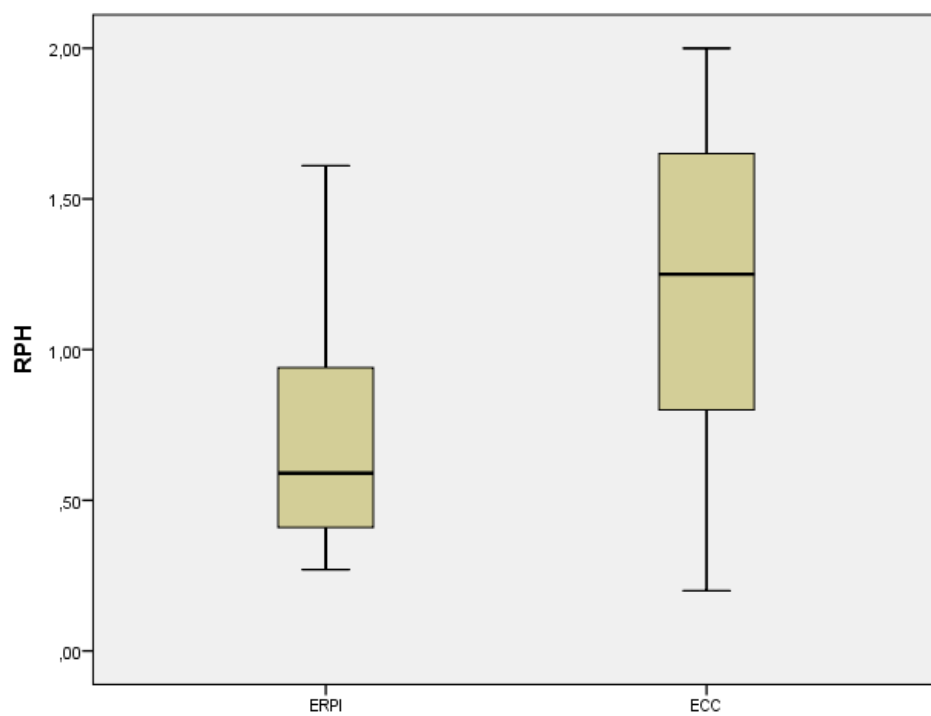


Figura 4.22 Comparação entre resultados das taxas de ventilação para estudos diferentes

5 Conclusões e sugestões para desenvolvimentos futuros

5.1 Considerações finais

O estudo desenvolvido neste trabalho teve como principal objetivo avaliar as condições de ventilação de lares de idosos na cidade de Lisboa. Este teve a particularidade de introduzir um novo parâmetro G (taxa de geração de CO₂) numa técnica corrente de determinação de taxas de. Deste modo, procedeu-se à medição de concentrações de CO₂ nos quartos de dormir. O CO₂ serviu de indicador do grau de viciação do ar.

As concentrações de CO₂ registadas permitiram retirar algumas conclusões quanto à qualidade do ar interior e determinar as taxas de ventilação.

Na introdução do parâmetro G (taxa de geração de CO₂) na técnica de regime quase-estacionário, o teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov permitiu validar 26 resultados de taxas de ventilação contra apenas 6 taxas de ventilação para a mesma técnica com o parâmetro G estimado.

No que concerne à concentração de CO₂, 70% dos quartos apresentam concentrações de CO₂ estacionário superiores à regulamentação nacional durante o Inverno e aproximadamente 54% durante o Verão.

As taxas de ventilação foram obtidas através de três técnicas. Para a técnica de emissão constante 46% dos quartos apresentaram taxas de ventilação inferiores à regulamentação. Para a técnica de decaimento 26% dos quartos apresentam taxas de ventilação inferiores a 0,4 h⁻¹. Por ultimo, para a técnica do regime quase-estacionário 23% dos quartos estudados apresentam taxas de ventilação inferiores a 0,4 h⁻¹.

A análise da distribuição de resultados da concentração de dióxido de carbono de acordo com a caixilharia através de diagramas de caixa e bigodes, para o Verão, foi inconclusiva, uma vez que os resultados apontam para uma permanente abertura de janelas.

A comparação efetuada entre os resultados obtidos para as concentrações de CO₂ e taxas de ventilação neste trabalho e outros estudos publicados, revelaram similaridade nos resultados.

5.2 Sugestões para desenvolvimentos futuros

Aplicar as técnicas estudadas em ambiente controlado.

Determinar as incertezas de cálculo referentes à técnica de emissão constante a uma e duas variáveis através de um método válido, como por exemplo o de Monte Carlo.

Complementar este trabalho com medições *in situ* da orientação e velocidade do vento nas várias fachadas dos lares visitados.

Bibliografia

- 1 - Base de Dados Portugal Contemporâneo – PORDATA, (2012). <http://www.pordata.pt/Europa/%C3%8Dndice+de+envelhecimento-1609> (23-11-2014)
- 2 - HUANG, Y., CHU, C., LEE, S. C., LAN S., HSIEH, C., HSIEH, P. - *Building users perceptions of importance of indoor environmental quality in long-term care facilities*, Building and Environment 67 224-230, (2013).
- 3 - Gabinete de Estratégia e Planeamento do Ministério da Solidariedade, Emprego e Segurança Social (2015). http://www.cartasocial.pt/resultados_pesquisageral.php?filtrar=hidden&cod_distrito=11&cod_concelho=06&cod_freguesia=0&cod_area=21&cod_valencia=2107&nome=&localpostal=&temCert=false (23-11-2014)
- 4 - ZURAIMI, M.S., THAM K.W. - *Indoor air quality and its determinants in tropical child care centers*. Atmospheric Environment, Vol. 42(9), pp. 2225-2239, (2008).
- 5 - ANDERSEN, R., FABI, V., TOFTUM, J., COGNATI S. P., OLESEN, B. W. - *Window opening behaviour modelled from measurements in Danish dwellings*. Building and Environment 69 101-113, (2013).
- 6 - VAN DIJKEN, F., VAN BRONSWIJKJ, E. M. H., SUNDELL J. - *Indoor environment and pupils' health in primary schools*, Building Research & Information, Vol. 34(5), pp. 437-446, (2006).
- 7 - MUMOVIC, D., PALMER, J., DAVIES, M., ORME, M., RIDLEY, I., ORESZCZYN, T., JUDD, C., CRITCHLOW, R., MEDINA, H. A., PILMOUR, G., PEARSON, C. and WAY, P, Building and Environment, Vol. 44, pp. 1466-1477, (2009).
- 8 - BUDJKO, A., BORODINECSs and Z. - *Indoor air quality in nursery schools in Latvia*, Proceedings of Healthy Buildings 2009, Syracuse, USA, (2009).
- 9 - AL-RASHIDI, K., LOVEDAY, D., AL-MUTAWA, N., - *Impact of ventilation modes on carbon dioxide concentration levels in Kuwait classrooms*, Energy & Buildings, Vol. 47, pp. 540-549, (2012).
- 10 - ALMEIDA, S. M., CANHA, N., SILVA, A., FREITAS, M., PEGAS, P., ALVES C., EVTYUGINA, M., PIO, C.A., - *Children exposure to atmospheric particles in indoor of Lisbon primary schools*. Atmospheric Environment, Vol.45(40), pp. 7594-7599, (2011).
- 11 - PEGAS, P.N., NUNES, T., ALVES, C.A., SILVA, J.R., VIEIRA, S.L.A., CASEIRO, A., PIO C.A., - *Indoor and outdoor characterisation of organic and inorganic compounds in city centre and suburban elementary schools of Aveiro, Portugal*. Atmospheric Environment, Vol.55, pp. 80-89, (2012).
- 12 - NORBÄCK, D., WIESLANDER, G., ZHAMG, X., ZHAO, Z., - *Respiratory Symptoms, perceived air quality and physiological signs in elementary school pupils in relation to displacement and mixing ventilation system: an intervention study*. Indoor Air, Vol. 21, pp. 4, (2011).
- 13 - FREITAS, M. C., CANHA, N. et al. - *Indoor air quality in primary schools*, Advanced Topics in Environmental Health and Air Pollution Case Studies, Vol. 20, pp. 361-384, (2011).
- 14 - ST-JEAN, M., ST-AMAND, A., GILBERT, N. L., SOTO, J. C., GUAY, M., Davis, K., GYORKOS, T. W. - *Indoor air quality in Montréal area day-care centres*, Canada. Environmental Research, (2012).
- 15 - RAMALHO, O., MANDIN, C., RIBÉRON, J., WYART, G. - *Air stuffiness and air exchange rate in French schools and day-care centres*, Ventilation 2012, Paris, (2012).

- 16 - DLUGOSZ, L., SUN W. - *HVAC design to reduce risk of communicable disease in child care center infant and toddler rooms*. (Report). ASHRAE Transactions, July, Vol. 117(2), p. 84(7), (2011).
- 17 - DIAS PEREIRA, L., RAIMONDO, D., CORGNATI, S. P., Gameiro da SILVA, M. - *Assessment of indoor air quality and thermal comfort in Portuguese secondary classrooms*, Methodology and results, Building and Environment (2004)
- 18 – AELENEI, D., NOGUEIRA, S., VIEGAS, J., MENDES, A., CANO, M., CERQUEIRA, F. - *Caracterização experimental das taxas de renovação horária em residências para pessoas idosas*, Porto, PATORREB, (2015).
- 19 - WALSH, P. J., DUDNEY, C. S. and COPENHAVER, E. D. - *Indoor Air Quality*, CRC Press, Boca Raton, FL, (1984).
- 20 - AWBI, H. B. – *Ventilation of buildings*, Spon Press (2005).
- 21 - FANGER, P. O. - *Provide good air quality for people and improve their productivity, in air Distribution in Rooms*, Proc. of ROOMVENT 2000, H. B. Awbi (ed.), Vol. 1, pp. 1-5, (2000)
- 22 - TURUNEN, M., OLUYEMI T., TUULA, P., NEVALAINEN, A., SHAUGHNESSY, R., HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U. *Indoor environmental quality in school buildings, and the health and wellbeing of students*, Int. J. of Hygiene and Env. Health, (2014).
- 23 - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE) - Standard 62-1999 Ventilation for acceptable indoor air quality, Atlanta,GA (1999).
- 24 - ASHLEY, S. - *Sick buildings*, Build. Serv. February, 25-30, (1986).
- 25 - BISHOP, V. L., CUSTER, D. E and VOGEL, R. H. - *The sick building syndrome: what it is, and how to prevent it*, Nat. Saf Health News, 132 (6), 31-8, (1985).
- 26 - FANG, L., CLAUSEN, G., and FANGER, P. O. - *Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality*, Indoor Air, 8, 80-90, (1998).
- 27 - FANG, L. et al. - *Field study on the impact of temperature, humidity and ventilation on perceived air quality*, Proc. 8th Int. Conference on Indoor Air Quality and Climate (Indoor Air '99), Edinburgh, August 1999, UK, Vol. 2, pp. 107-12, (1999).
- 28 - BYCENKIENE et al, (2009); DALES et al., 2008; LEECH et al., - *Simulation of indoor ozone concentration*, Lithuanian Journal of Physics, Vol. 49, No.3, pp.335-339, (2009).
- 29 - ROAD, Sir W., L. - *A Guide to Energy Efficient Ventilation*, International Energy Agency (AIVC), (1996).
- 30 – NORMA PORTUGUESA NP 1037-1 – *Ventilação e evacuação dos produtos de combustão de locais com aparelhos a gás, Parte I: Edifícios de Habitação. Ventilação Natural*, (2002).
- 31 - Meyer, B – *Indoor air quality*, Addison-Wesley, Reading, Massachussets (1983).
- 32 - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE) - Ventilation for acceptable indoor air quality, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta GA (1999).
- 33 - YAGLOU, C. P., RILEY, B. C. and COGGINS, D. J. - *Ventilation requirements*, Trans. ASHVE, 42, 133-62, (1936)
- 34 - British Standards (BS) 5925 - Code of practise for: ventilation principles and designing for natural ventilation, British Standards Institution, London (1991).

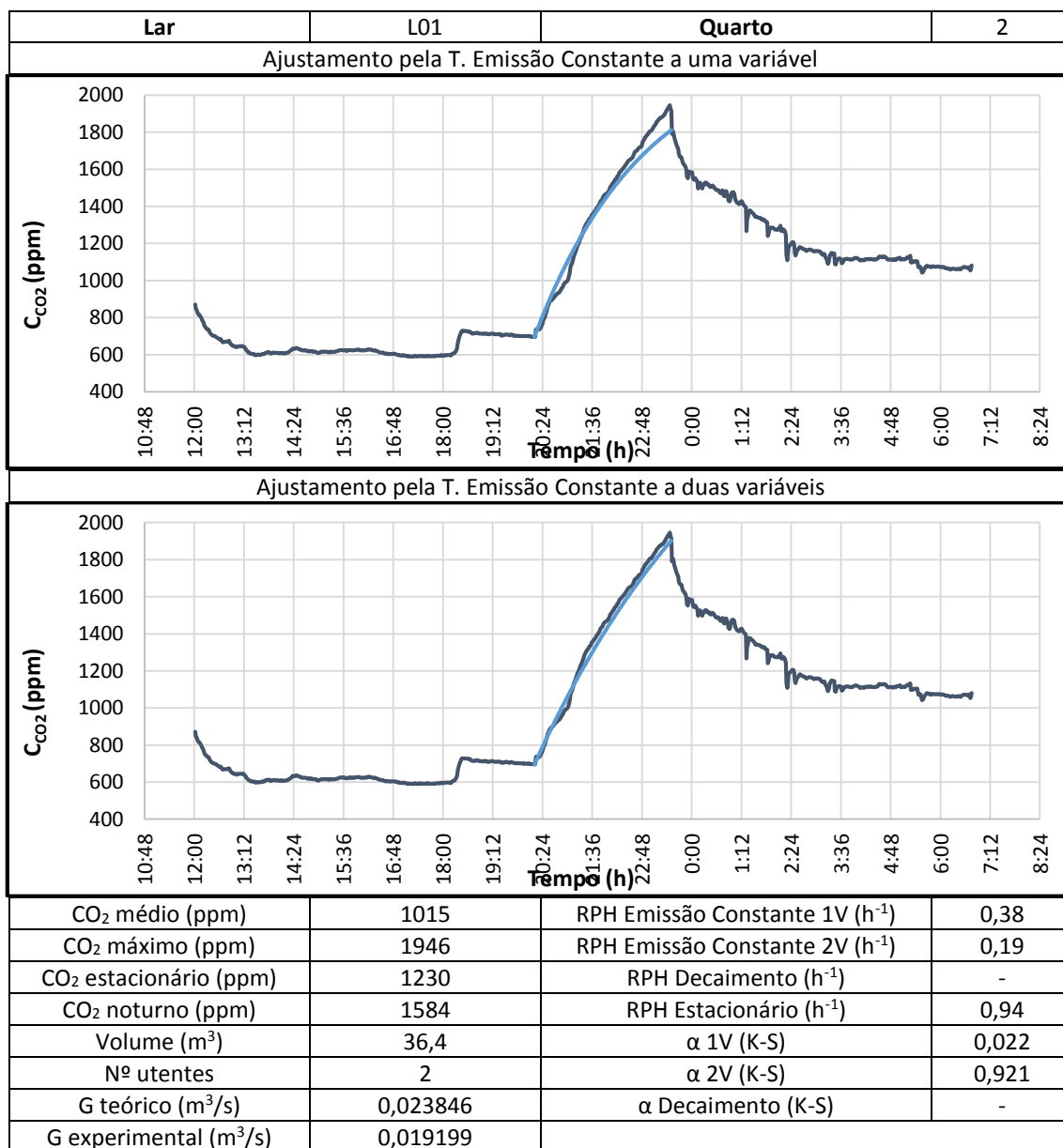
- 35 - DECRETO-LEI nº 118/2013. D.R. 1ª Série nº235 (2013-12-04) pags. 6644-(2)-6644-(9) - *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços – Requisitos de Ventilação e Qualidade do Ar Interior*.
- 36 - BRUNDRERT, G. W. - *Ventilation requirements in rooms occupied by smokers: A review*, Electricity Council Research Centre, UK, Rep. ECRC/M870, (1975).
- 37- SUNDELL, J. - *Guidelines for NORDIC buildings regulations regarding indoor air quality*, Environ. Int., 8, 17-20, (1982).
- 38 - GODISH, T. - *Sick Building Definition, Diagnosis and Mitigation*, CRC Press, Boca Raton, FL, (1985).
- 39 – WORLD HEALTH ORGANIZATION – *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants* (2010)
- 40 - Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) - *Minimising the risk of legionnaires' disease*. CIBSE tech. Memo. TM13, London (1987).
- 41 - BRE Digest 297 (1985) *Surface condensation and mould growth in traditionally built dwellings*, Buildings Research Establishment, Watford, England.
- 42 – HALL, D., J., et al. - *Exposure of buildings to pollutants in urban areas – a review of the contributions from different sources*, Report No. CR 209/96, Building Research Establishment, UK, (1996).
- 43 - KUKADIA, V., PIKE, J. And WHITE, M. - *Air pollution and natural ventilation in urban environment*, Proc. CIBSE National Conference, (1997), Chartered Institution of Building Services Engineers, London (1997).
- 44 - CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS (CIBSE) - *Minimising Pollutants at Air Inlets*, Tech. Mem. 21, London (1999).
- 45 - CORNISH, J. P., SANDERS, C. H. and GARRATT, J. - *The effectiveness of remedies to surface condensation and mould, Workshop and Condensation and Energy Problems: A search for an International Strategy*, 23-25 September, Leuven, (1985).
- 46 - HOLLANDER, M., WOLFE, D.,A. - *Nonparametric Statistical Methods*, Wiley-Interscience, (1999).
- 47 - EVALUATION OF MEASUREMENT DATA - *Guide to the expression of uncertainty in measurement*, GUM, GM 100:2008, (2008).
- 48 – ALMEIDA-SILVA, M., Wolterbreek, H.,T., Almeida, S.,M. - *Elderly exposure to indoor air pollutants*, *Atmospheric Environment*, Vol.85, pp. 54-63, (2014).

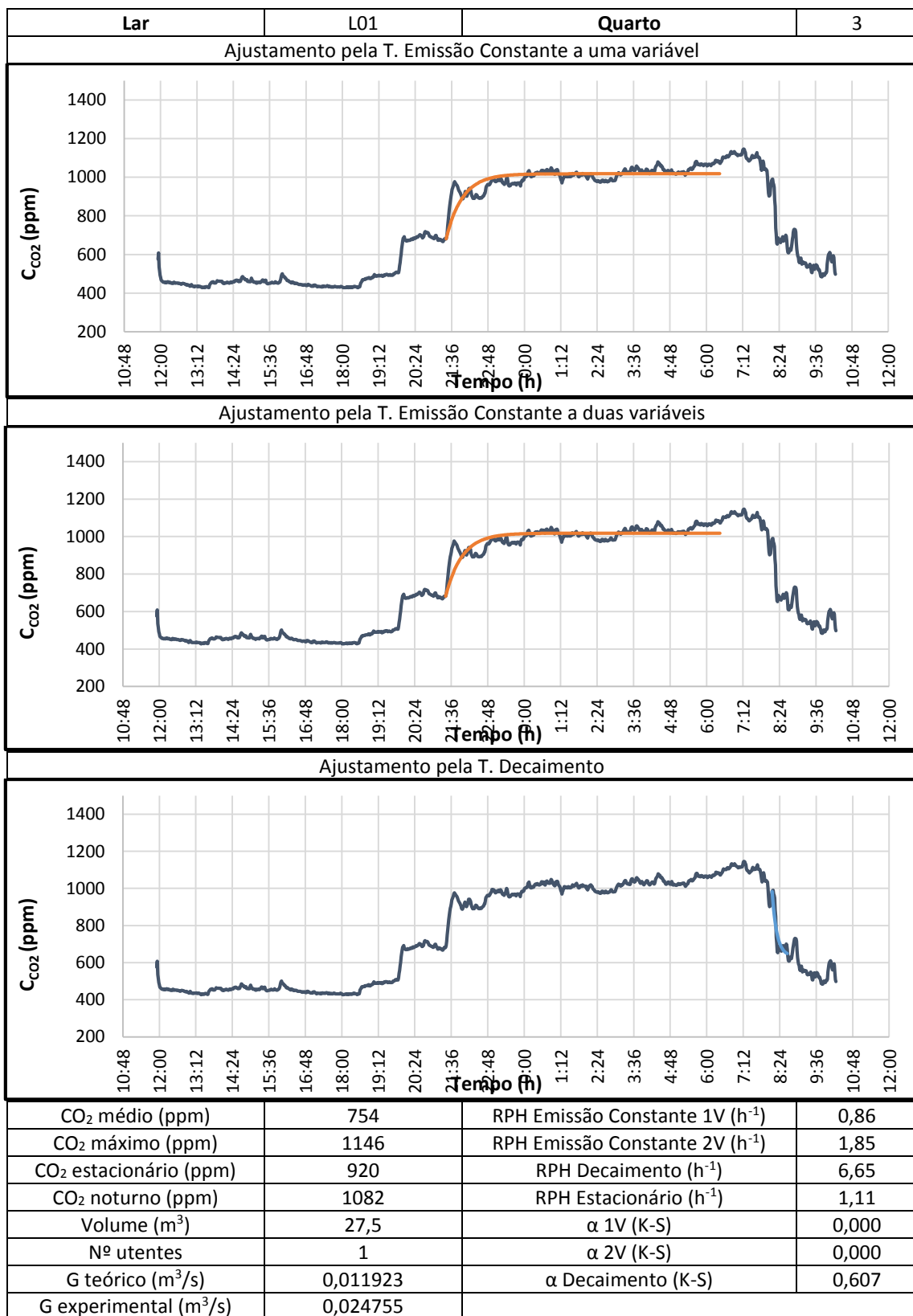
Anexos

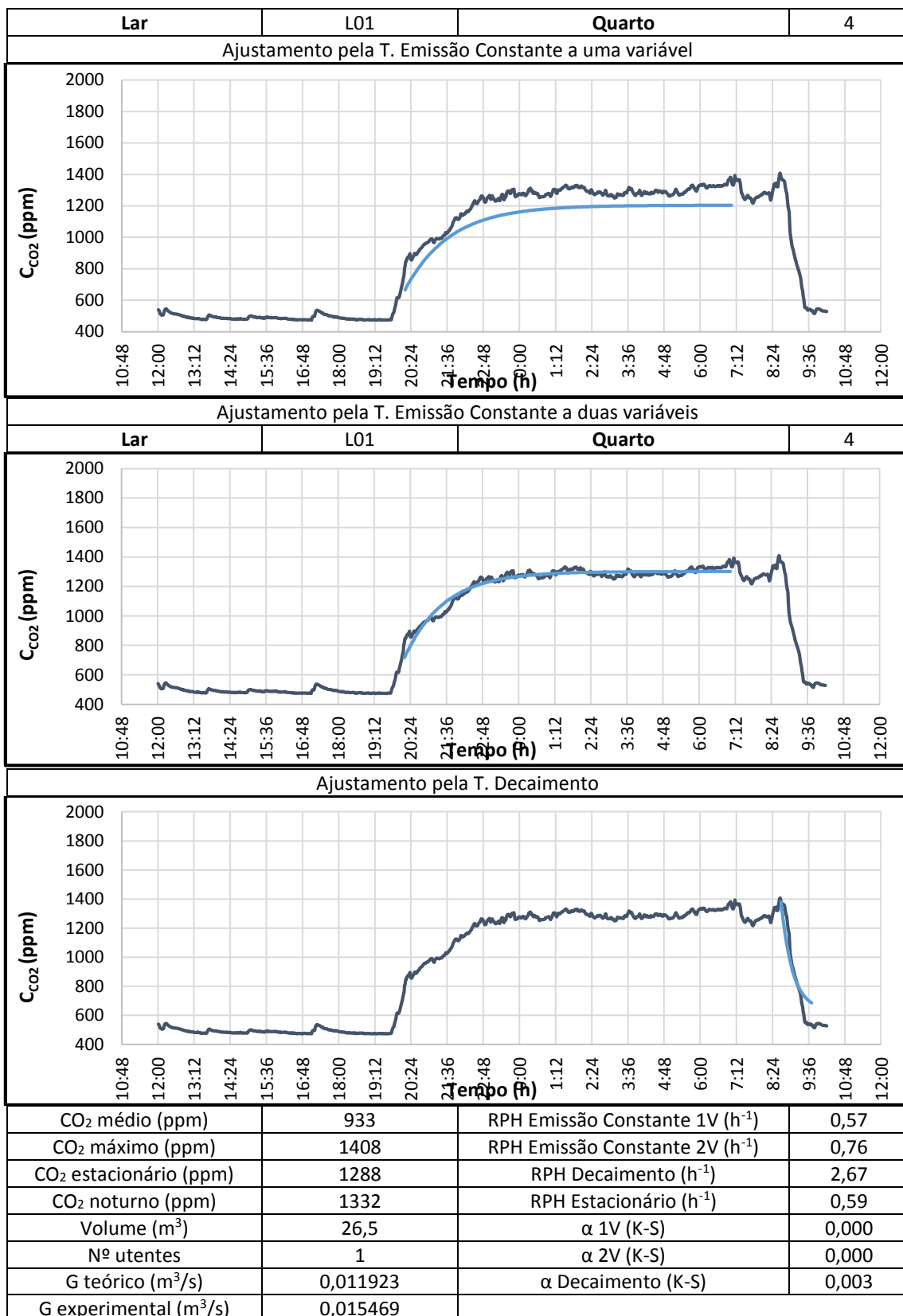
Quadro Anexo I Simulação das taxas de geração de CO₂

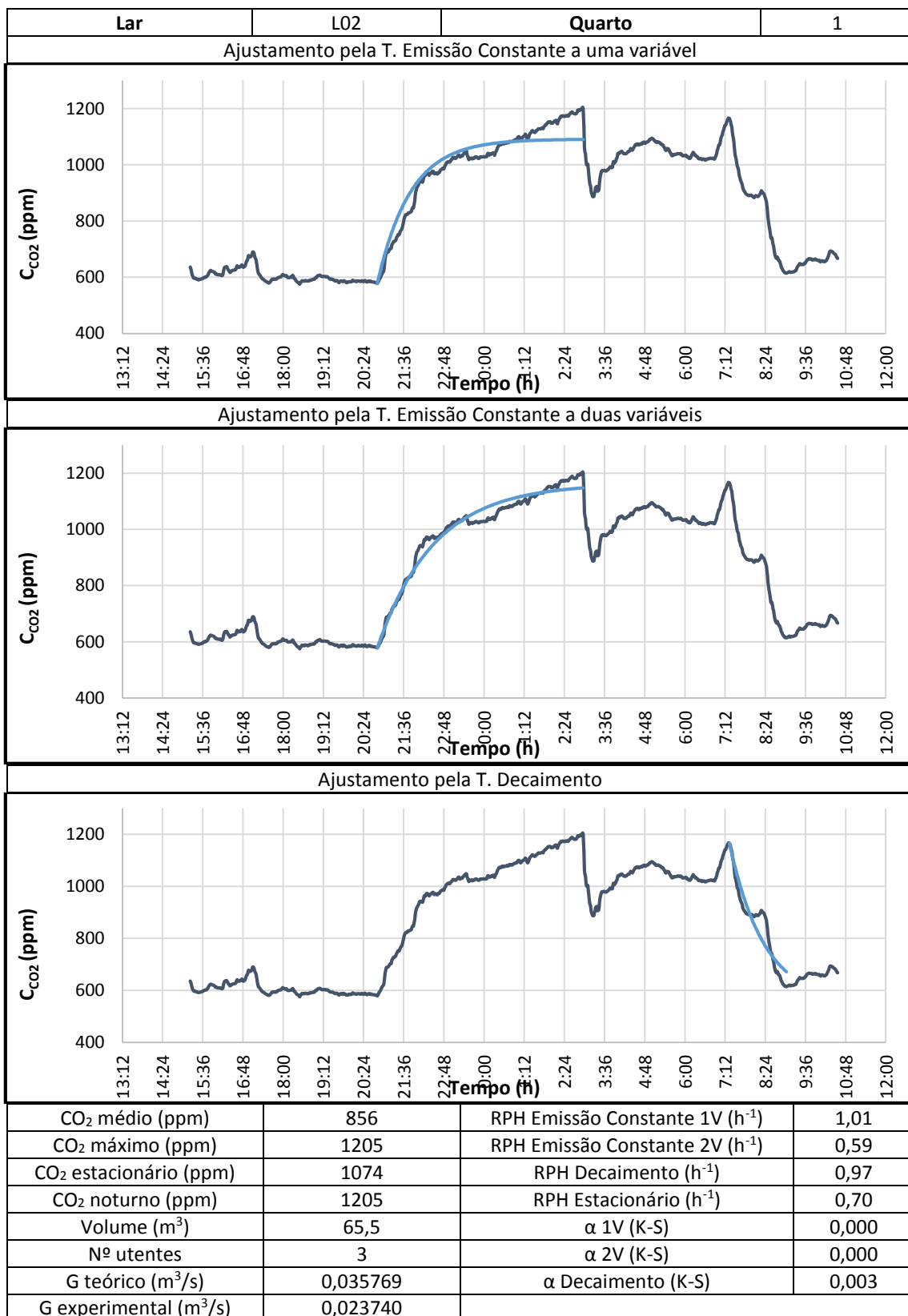
Simulação 1 - Alteração de peso - M=46 e altura=1,6 m							
	Padrão	Pessoa 1	Pessoa 2	Pessoa 3	Pessoa 4	Pessoa 5	Pessoa 6
m - massa [kg]	70	60	70	80	90	100	110
h - altura [m]	1,73	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
M [Wm ⁻²]	46	46	46	46	46	46	46
ADu [m ²]	1,80	1,62	1,73	1,83	1,92	2,01	2,09
G [m ³ /h]	0,011923	0,010719	0,011445	0,012114	0,012735	0,013319	0,013869
Simulação 2 - Alteração de altura - M=46 e peso=70 Kg							
	Padrão	Pessoa 1	Pessoa 2	Pessoa 3	Pessoa 4	Pessoa 5	Pessoa 6
m - massa [kg]	70	70	70	70	70	70	70
h - altura [m]	1,73	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
M [Wm ⁻²]	46	46	46	46	46	46	46
ADu [m ²]	1,80	1,65	1,73	1,81	1,88	1,96	2,03
G [m ³ /h]	0,011923	0,010922	0,011445	0,01196	0,012466	0,012964	0,013455
Simulação 3 - Alteração de peso - M=58 e altura=1,6 m							
	Padrão	Pessoa 1	Pessoa 2	Pessoa 3	Pessoa 4	Pessoa 5	Pessoa 6
m - massa [kg]	70	60	70	80	90	100	110
h - altura [m]	1,73	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
M [Wm ⁻²]	58	58	58	58	58	58	58
ADu [m ²]	1,80	1,62	1,73	1,83	1,92	2,01	2,09
G [m ³ /h]	0,015034	0,013516	0,014431	0,015274	0,016058	0,016793	0,017487
Simulação 4 - Alteração da altura - M=100 e peso = 70 Kg							
	Padrão	Pessoa 1	Pessoa 2	Pessoa 3	Pessoa 4	Pessoa 5	Pessoa 6
m - massa [kg]	70	70	70	70	70	70	70
h - altura [m]	1,73	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
M [Wm ⁻²]	58	58	58	58	58	58	58
ADu [m ²]	1,8	1,65	1,73	1,81	1,88	1,96	2,03
G [m ³ /h]	0,015034	0,013771	0,014431	0,015079	0,015717	0,016346	0,016965

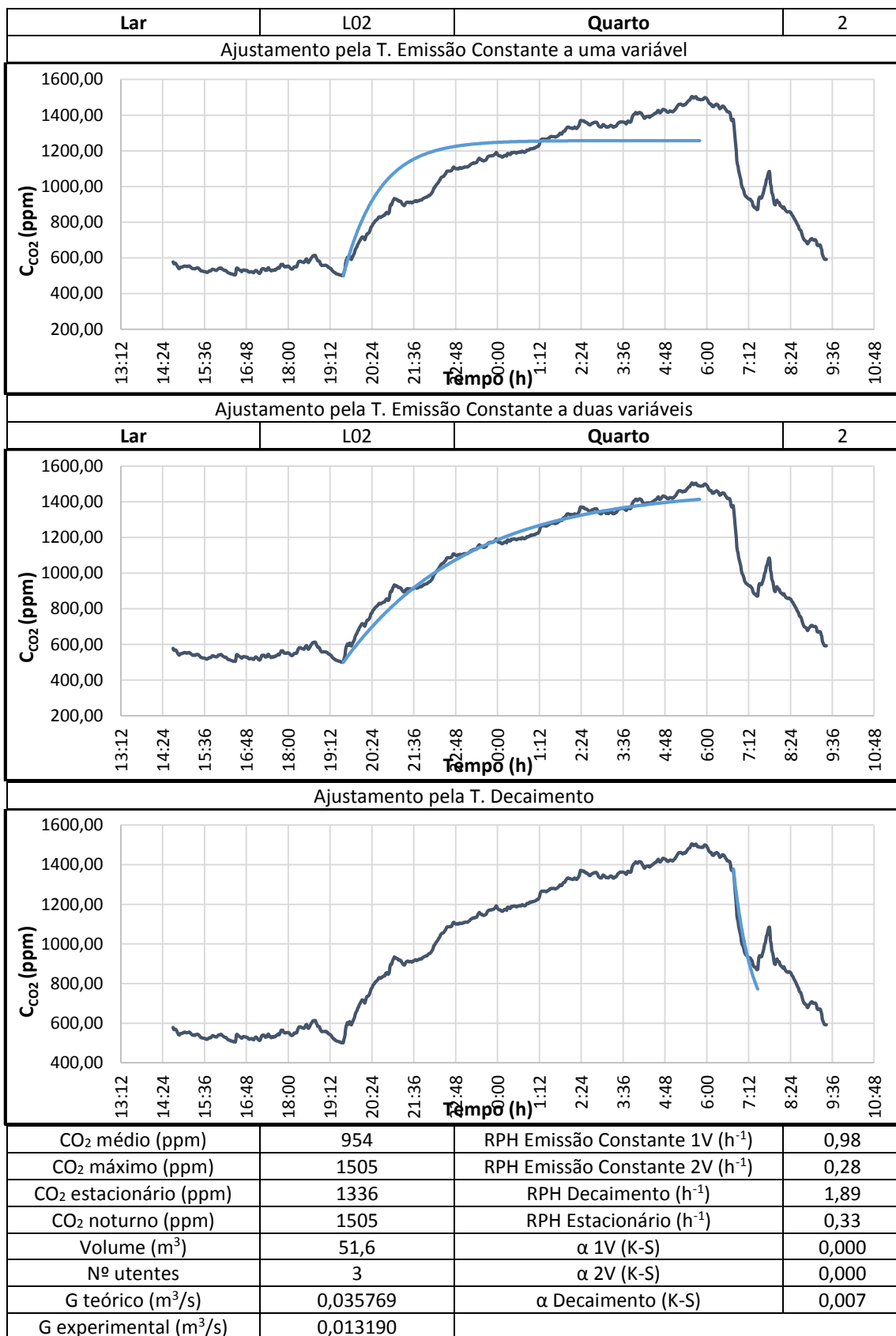
Quadro Anexo II Resultados dos ajustamentos – Verão

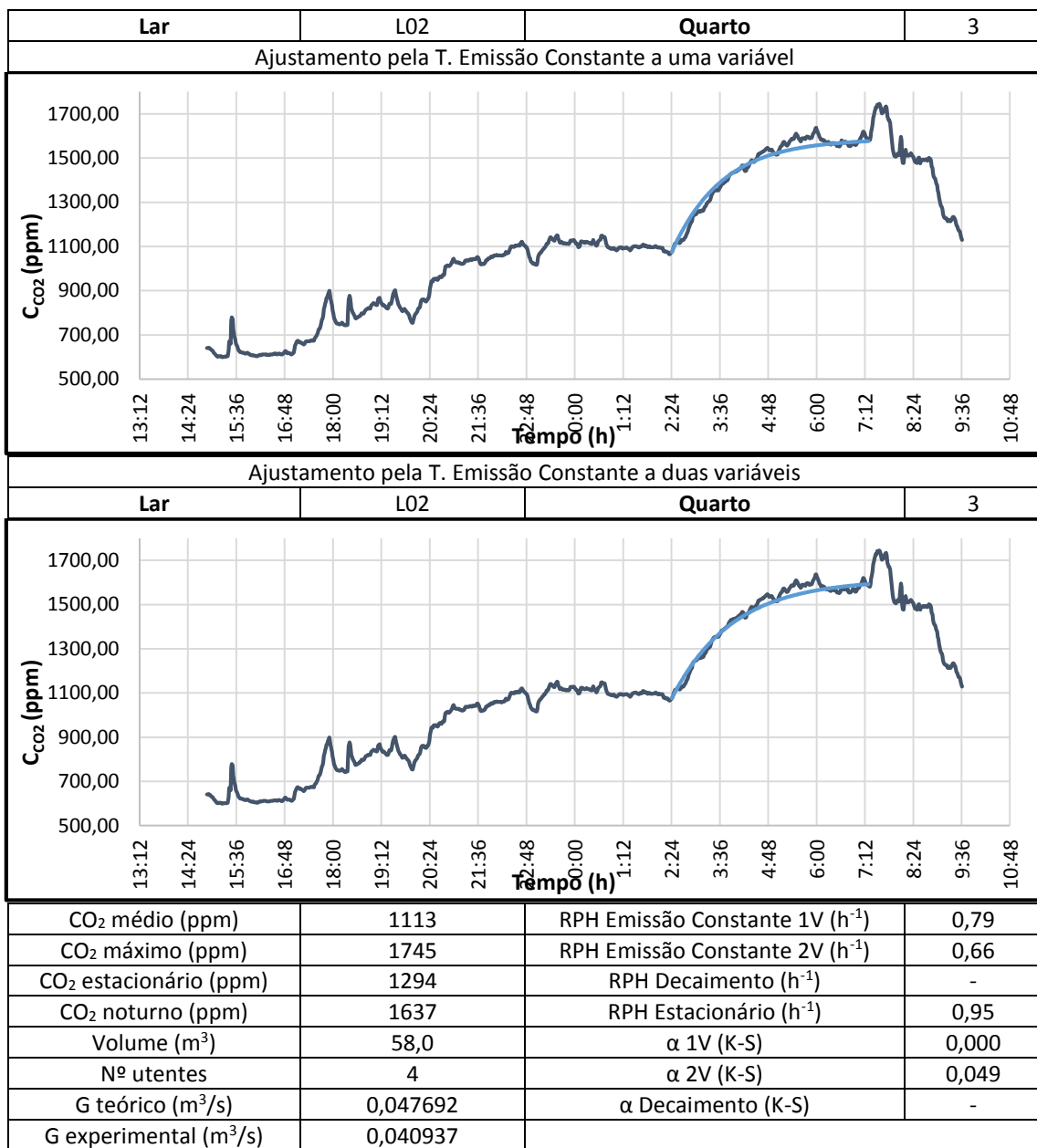


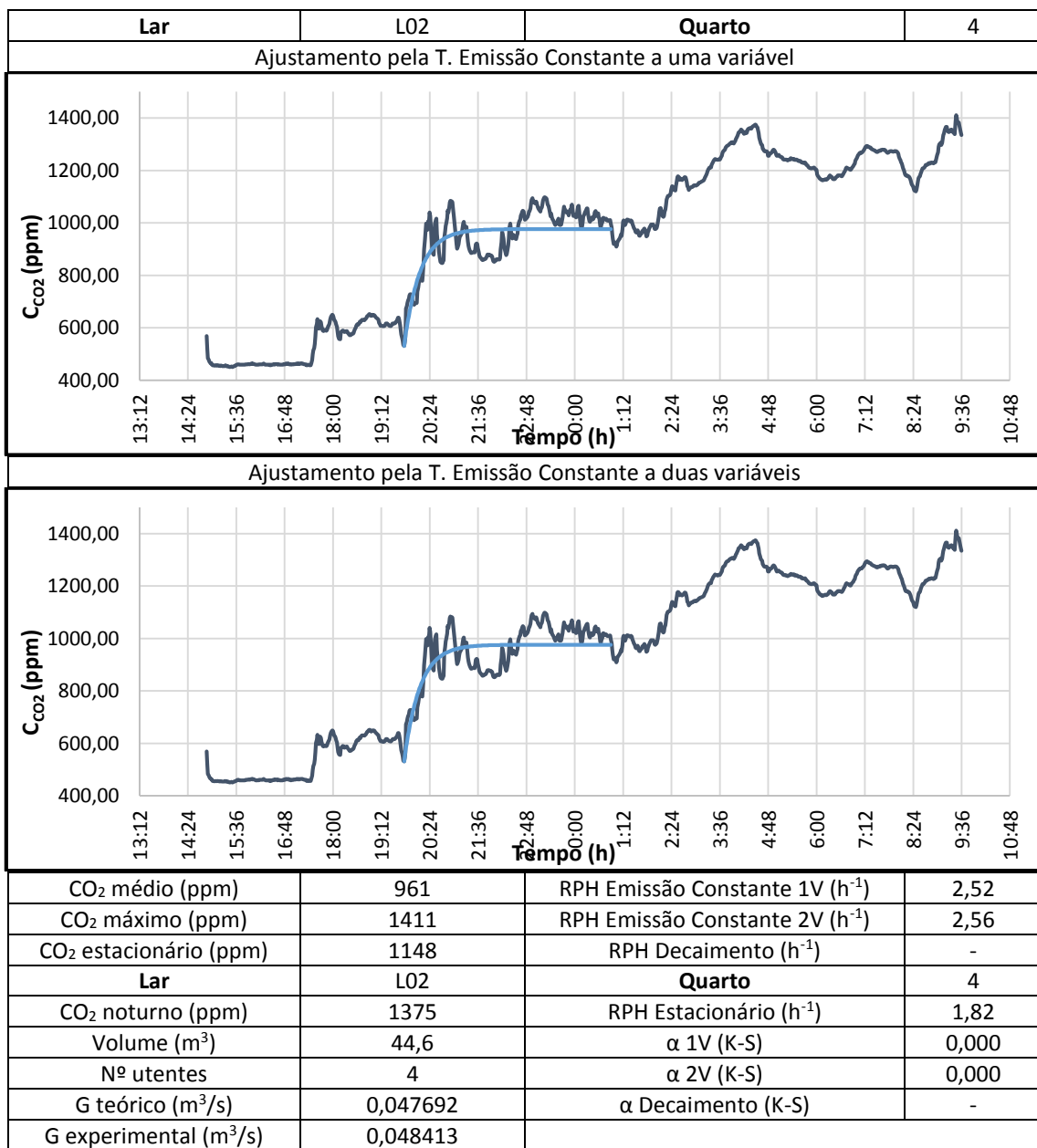


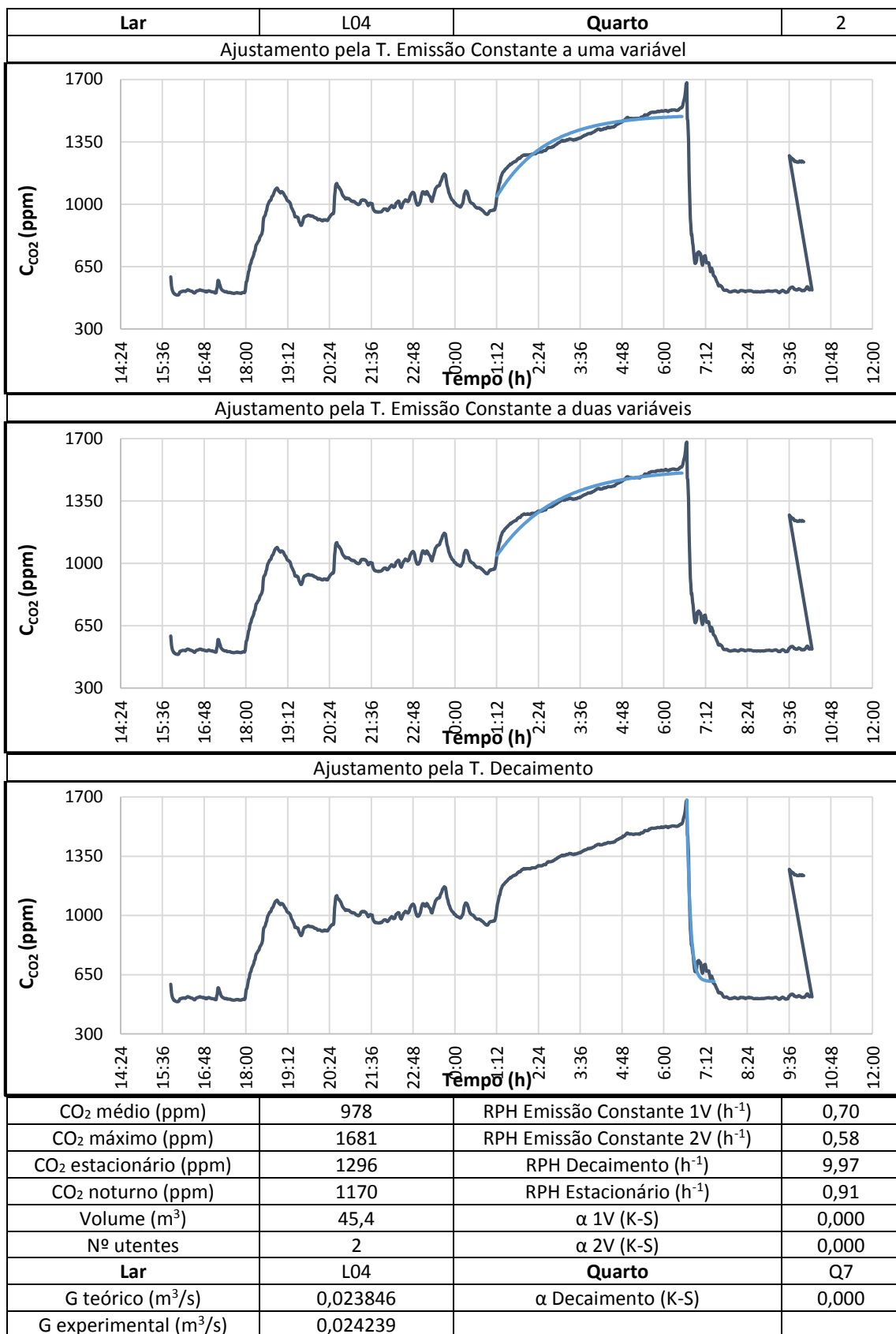


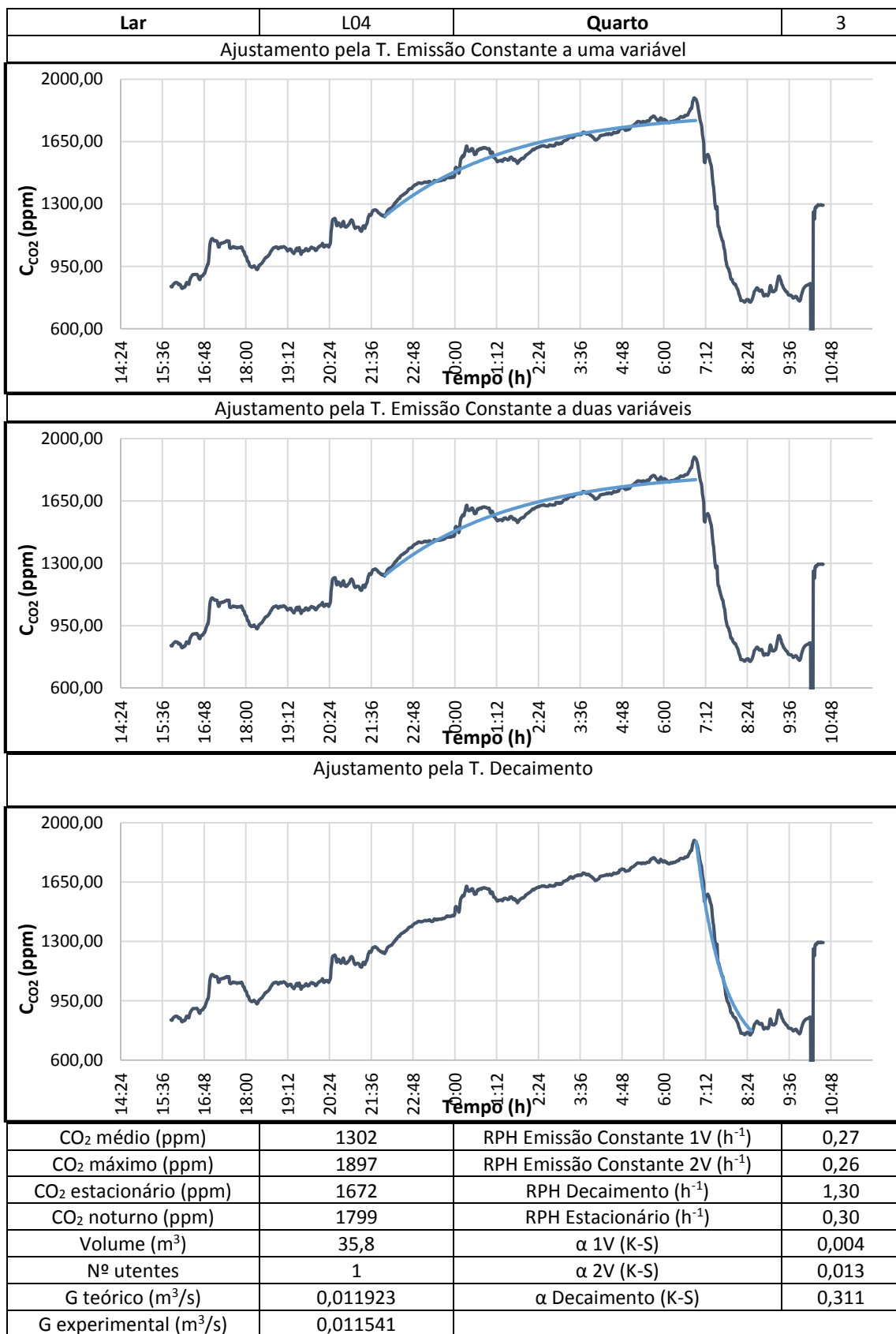


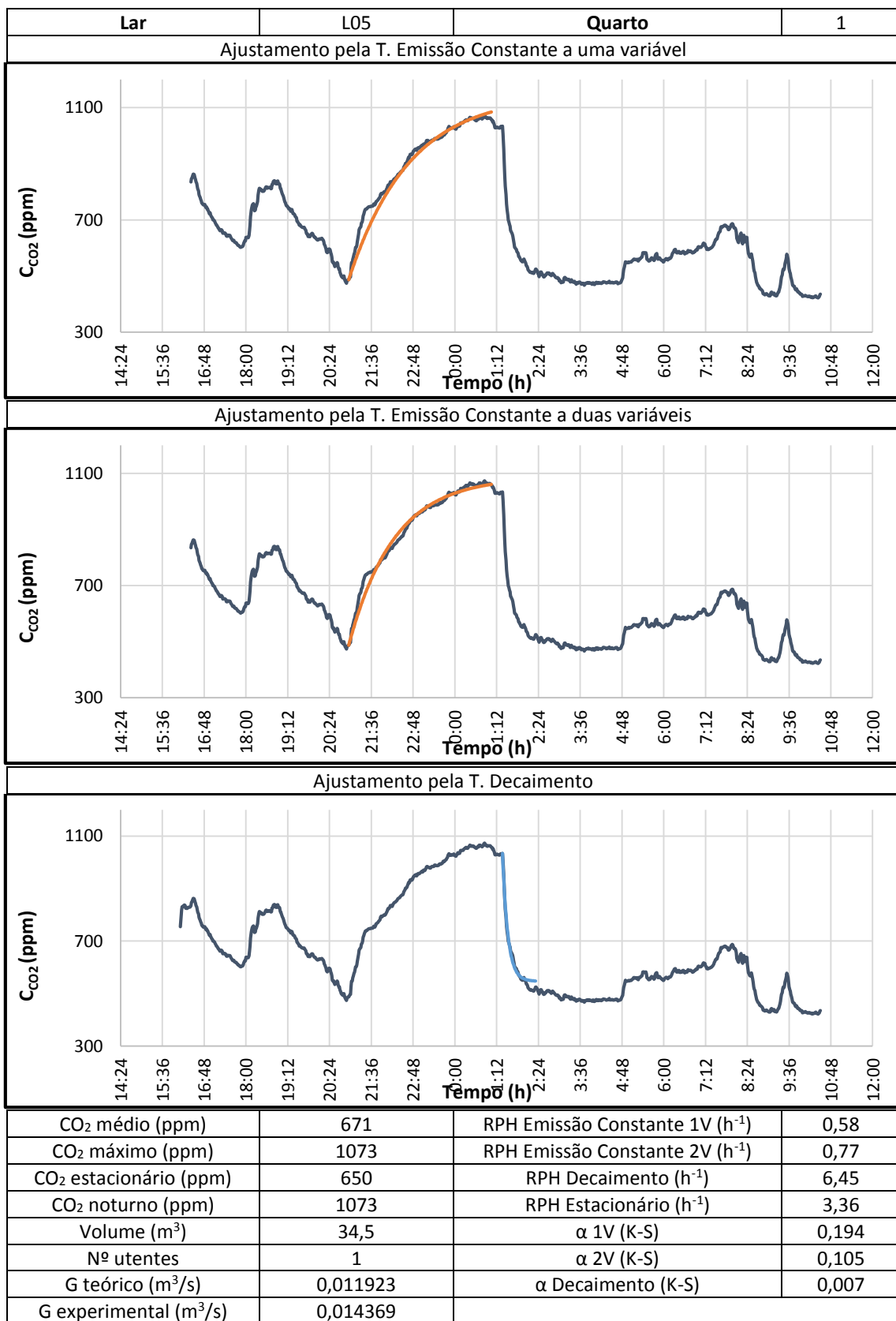


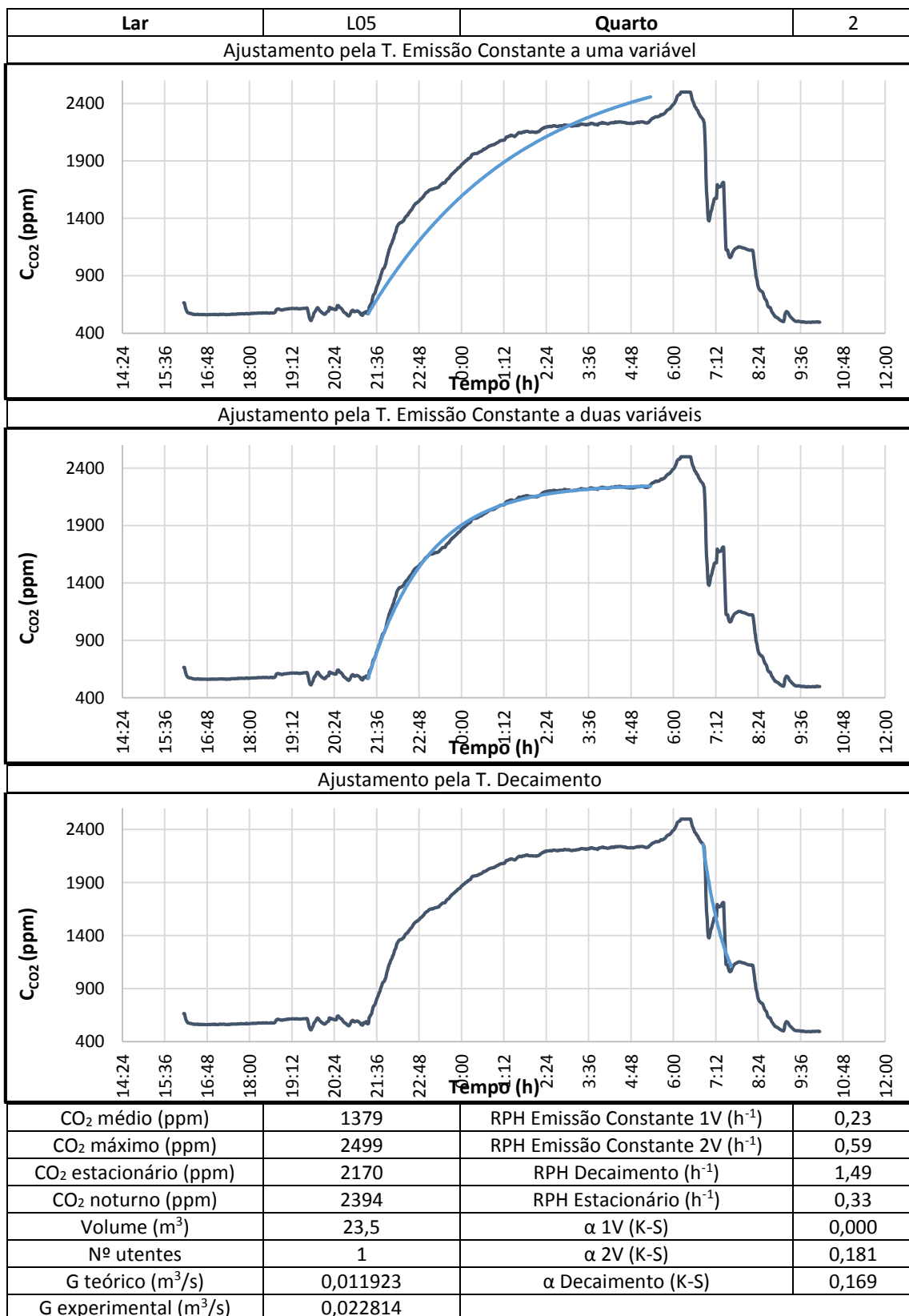


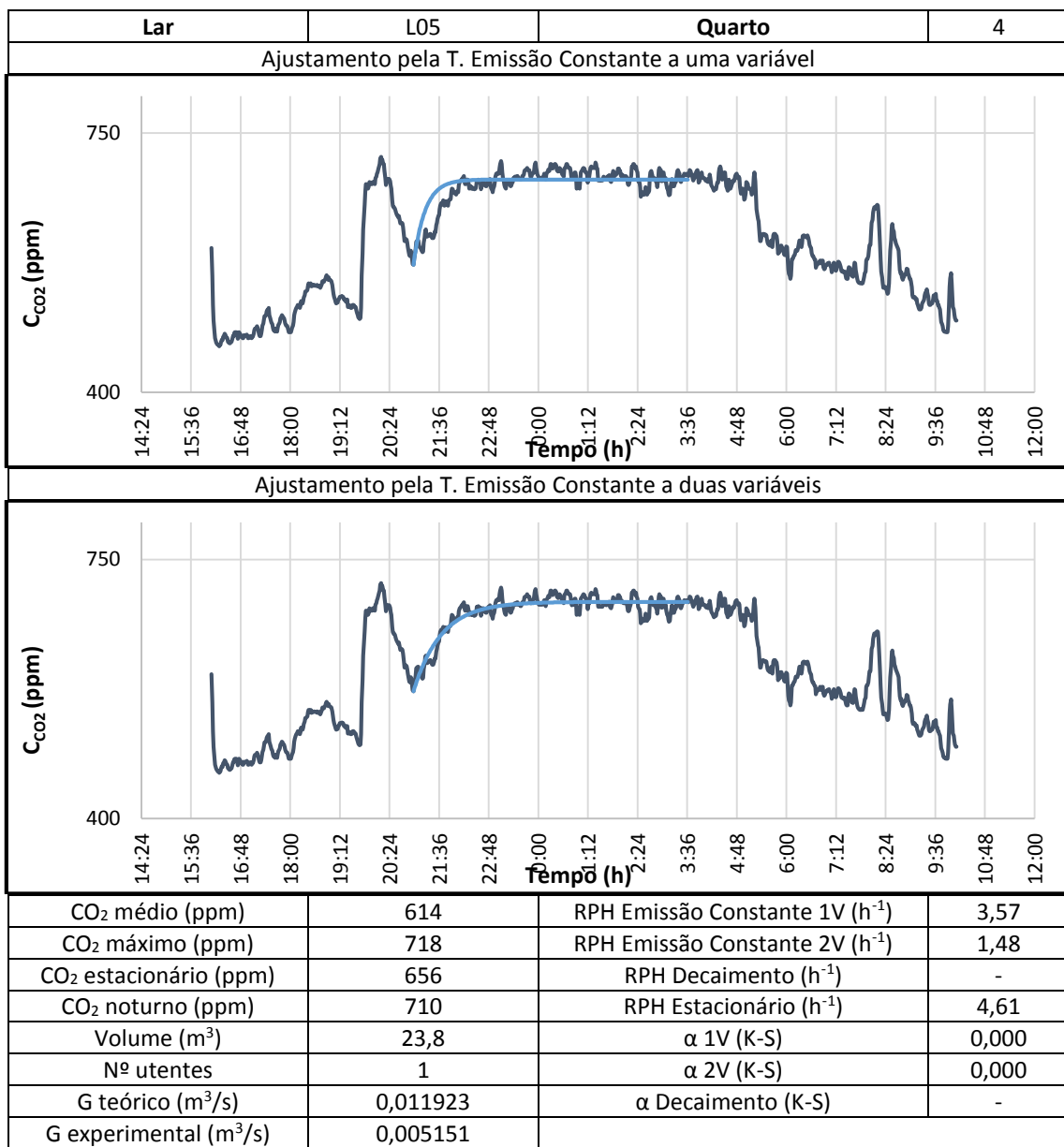


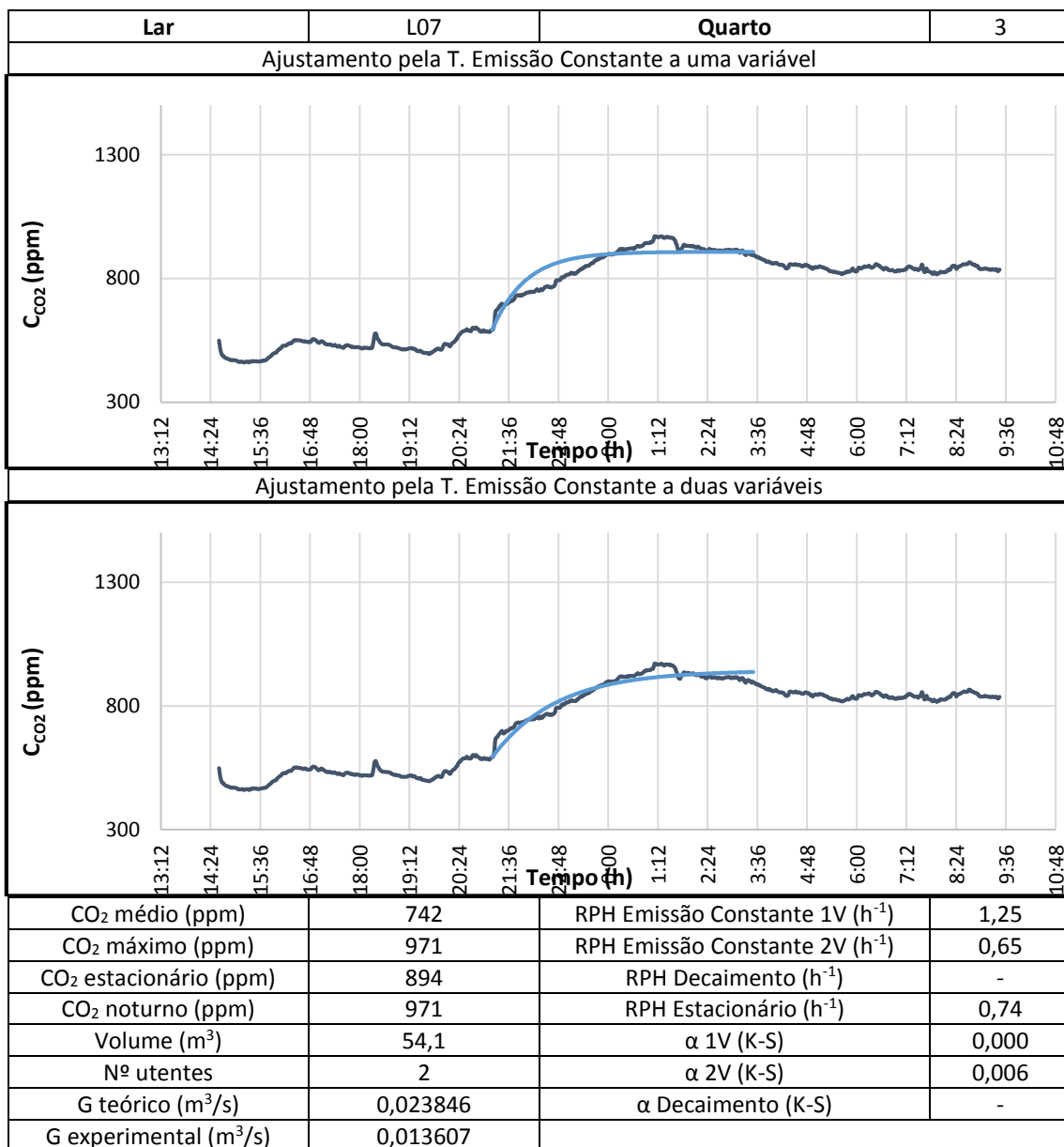


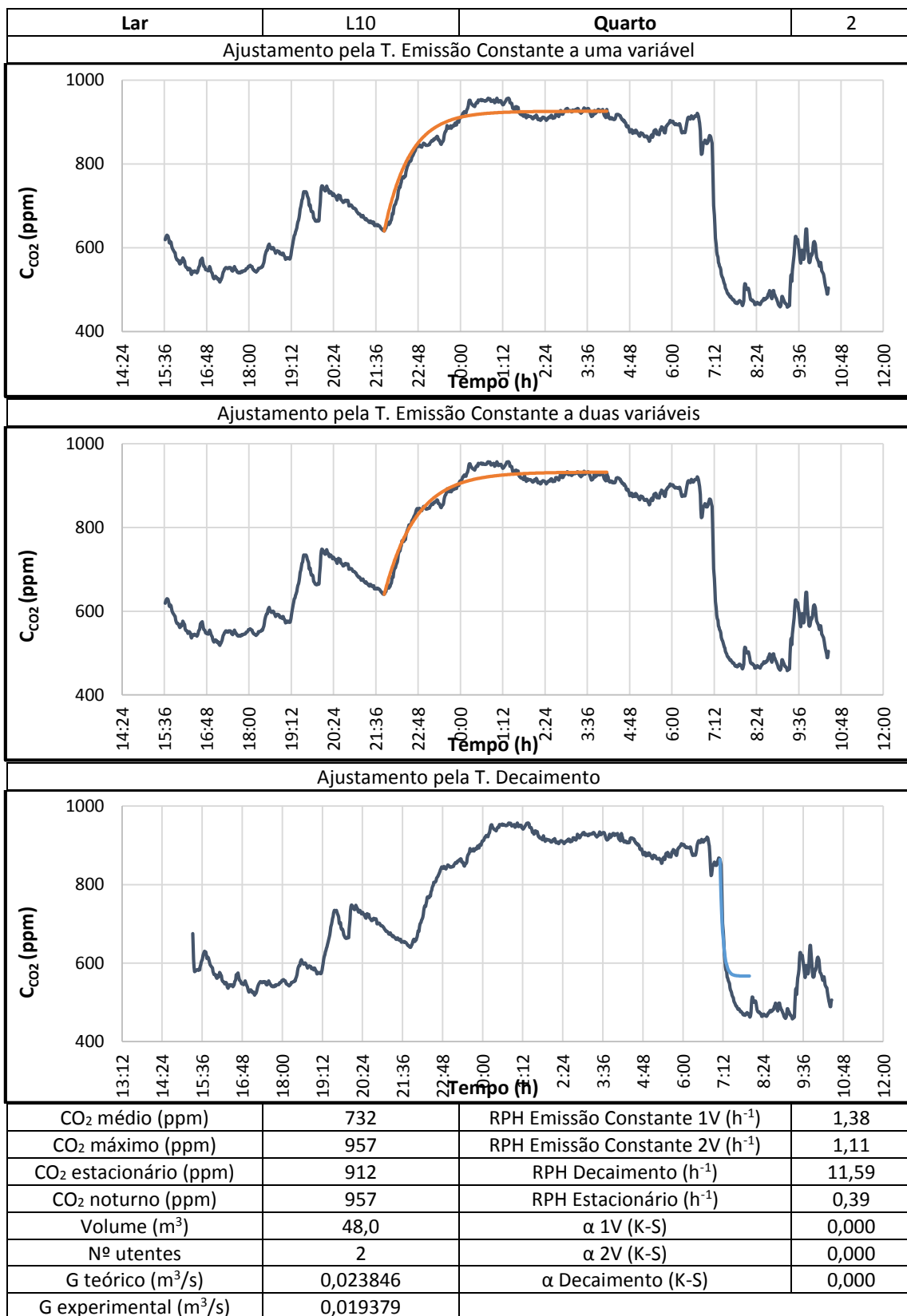


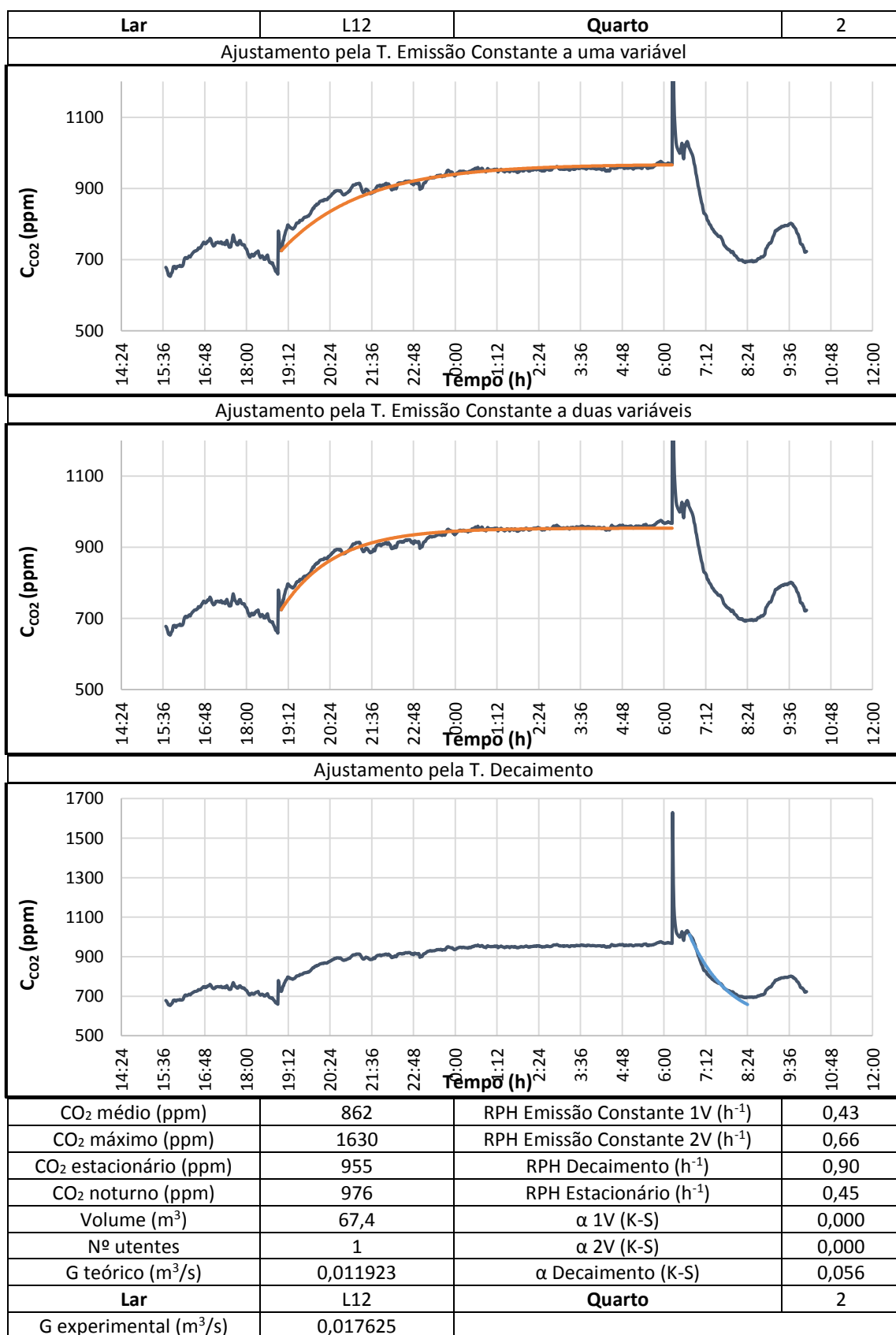


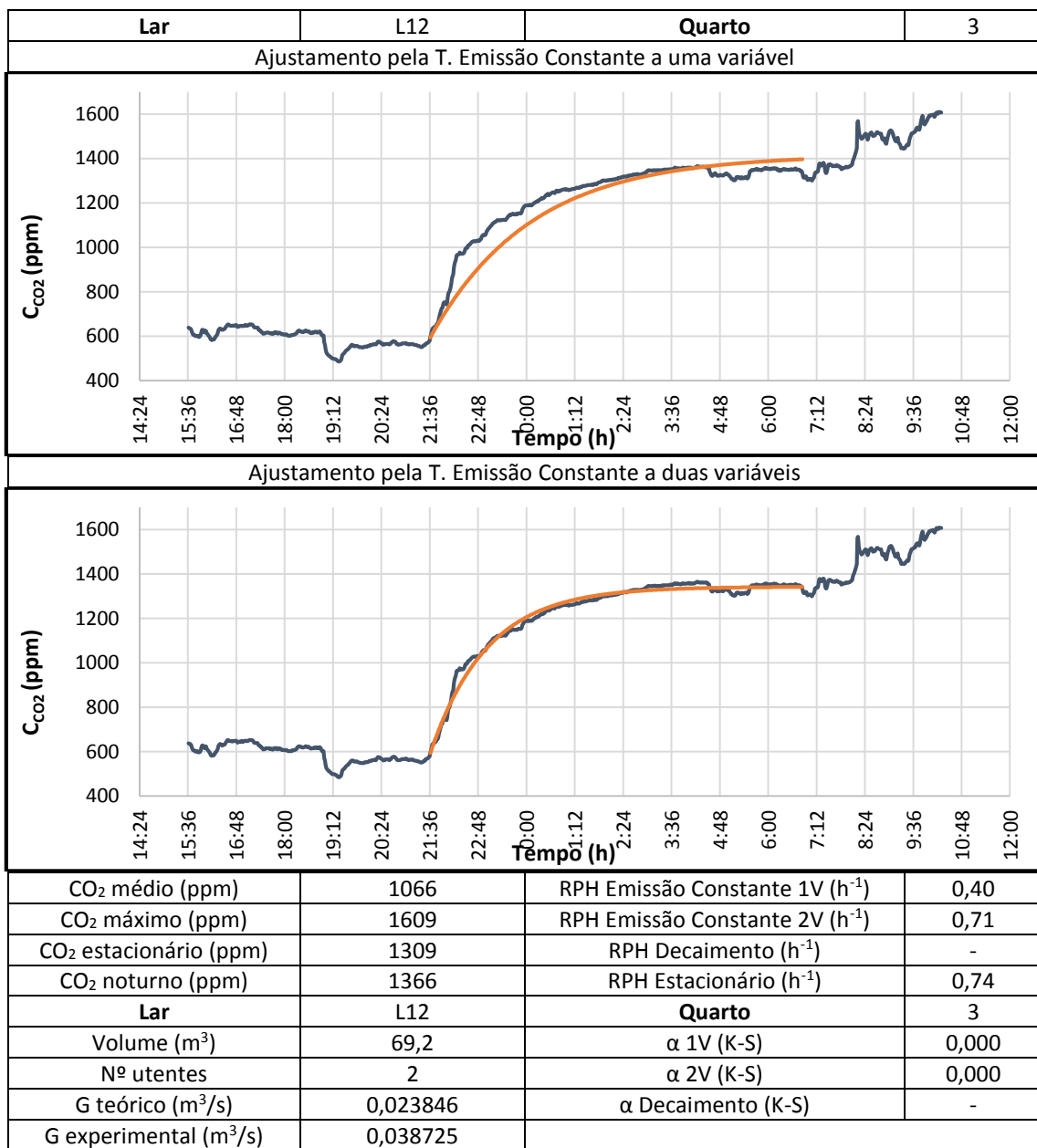


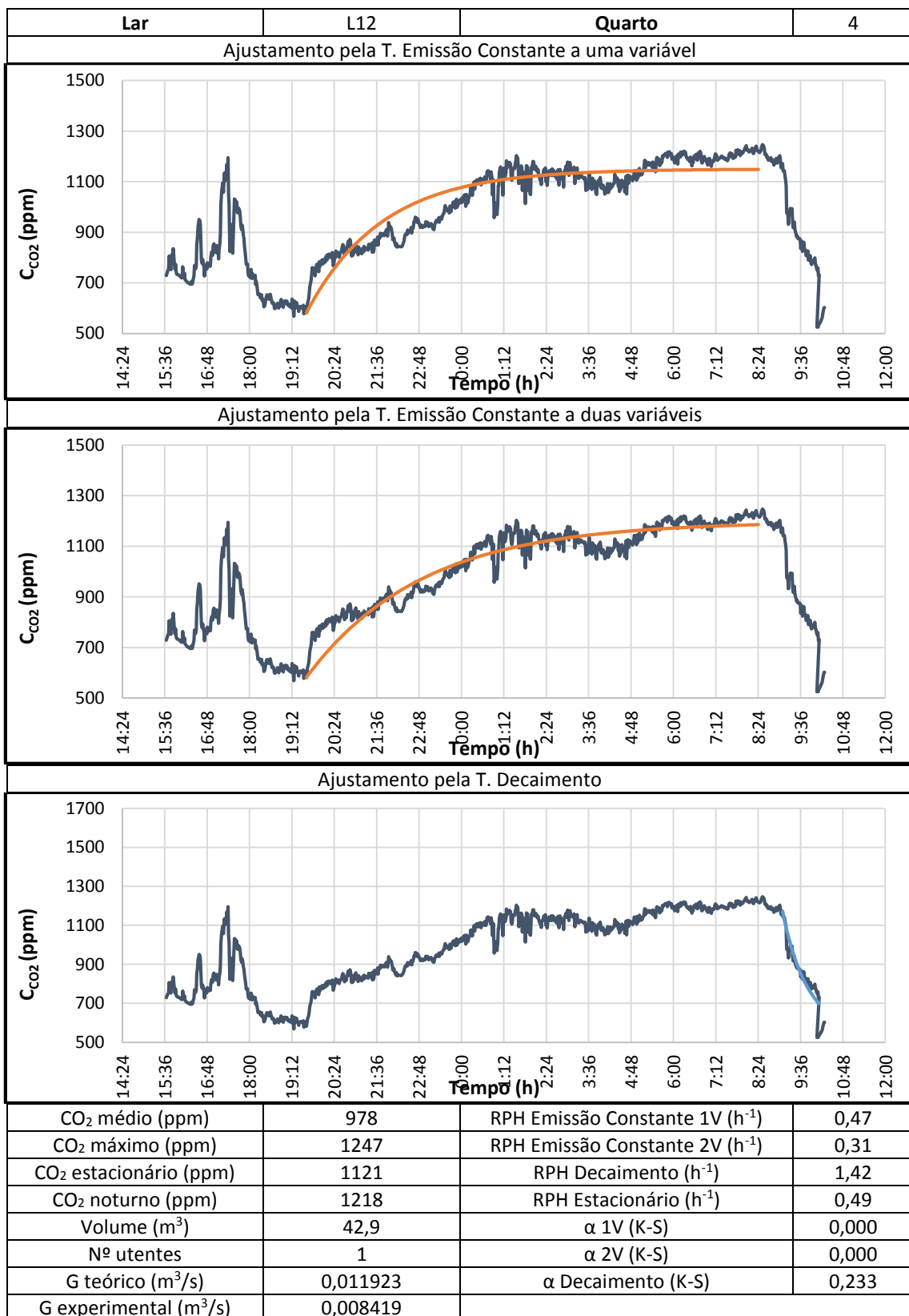


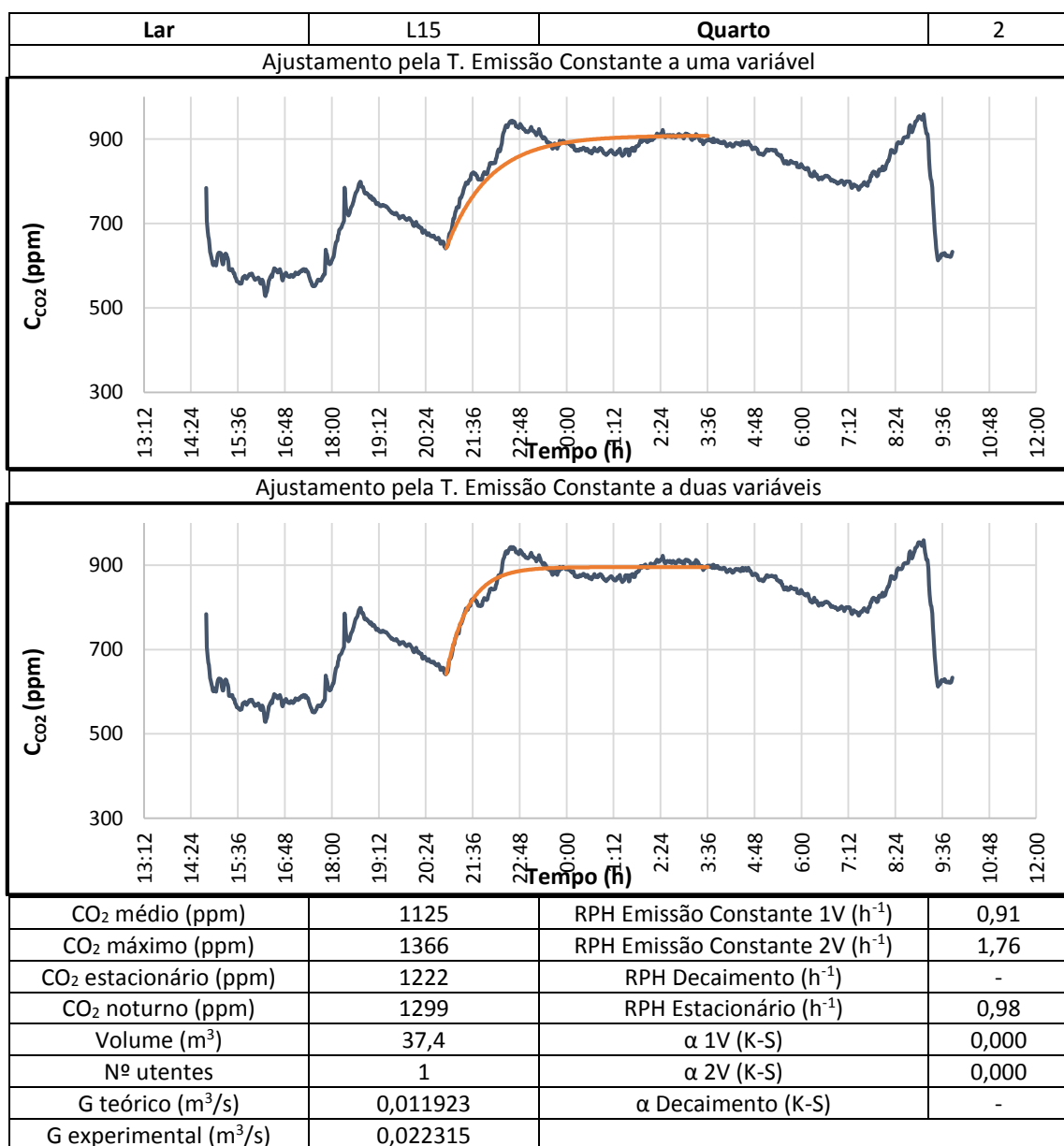


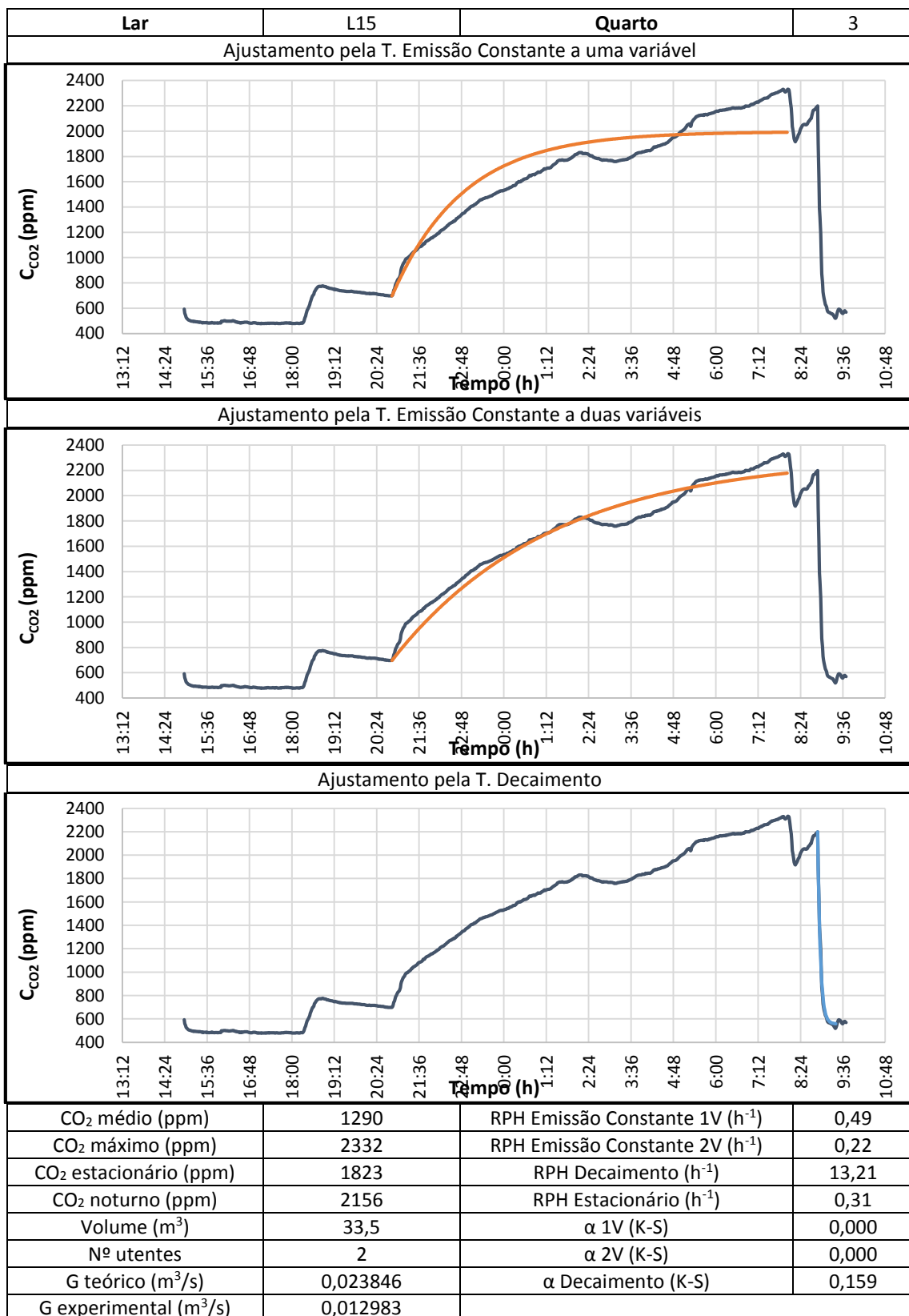


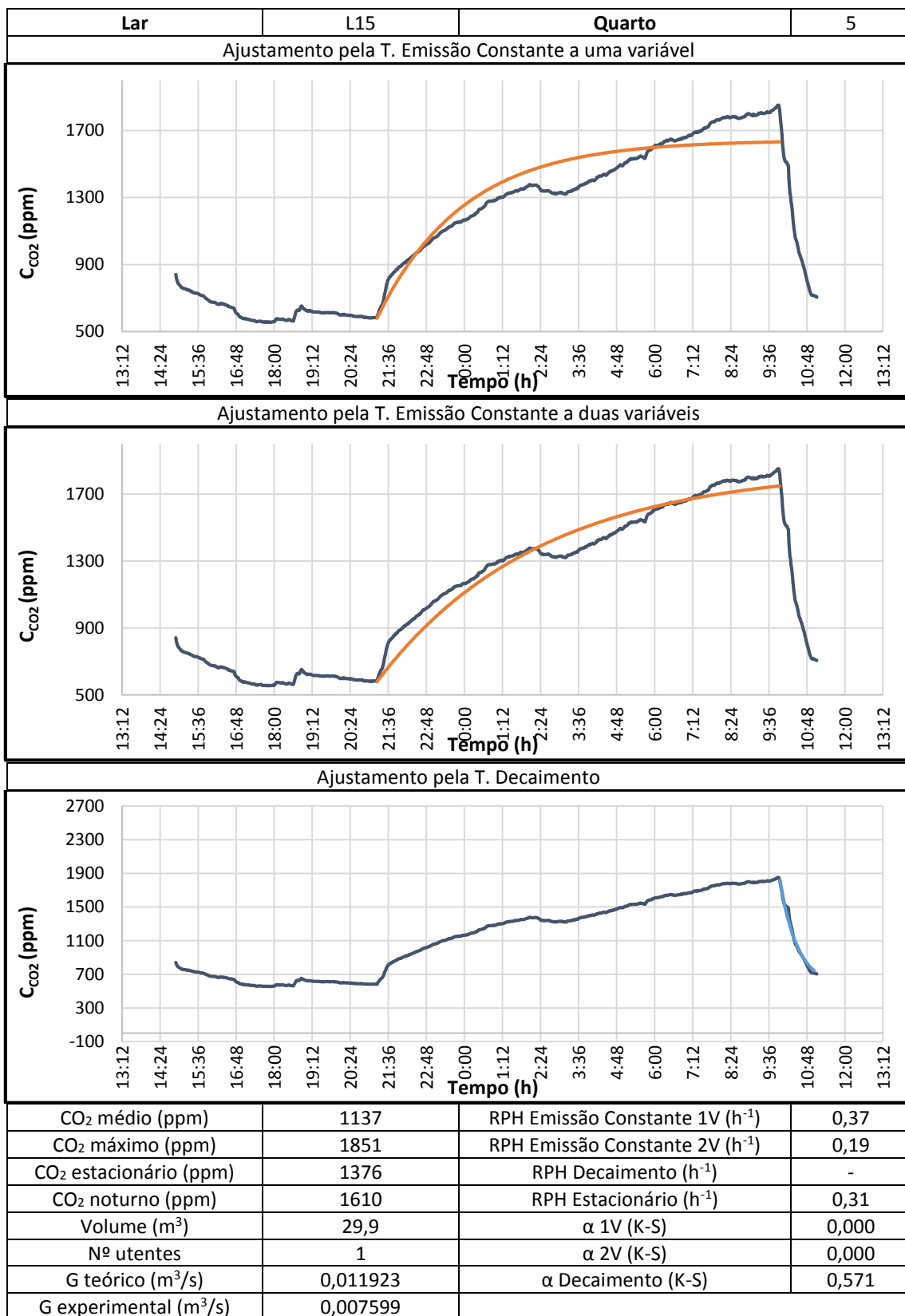


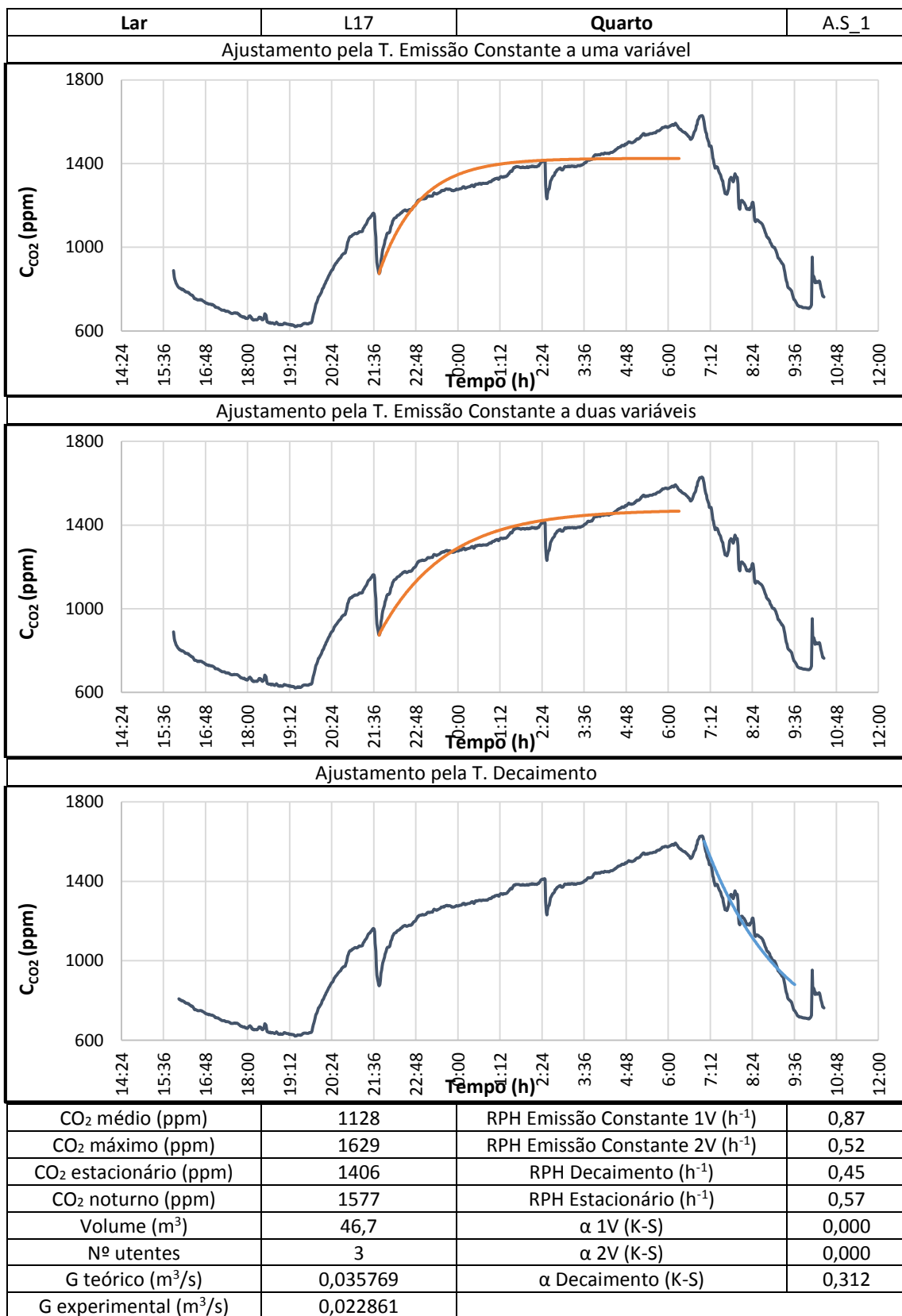


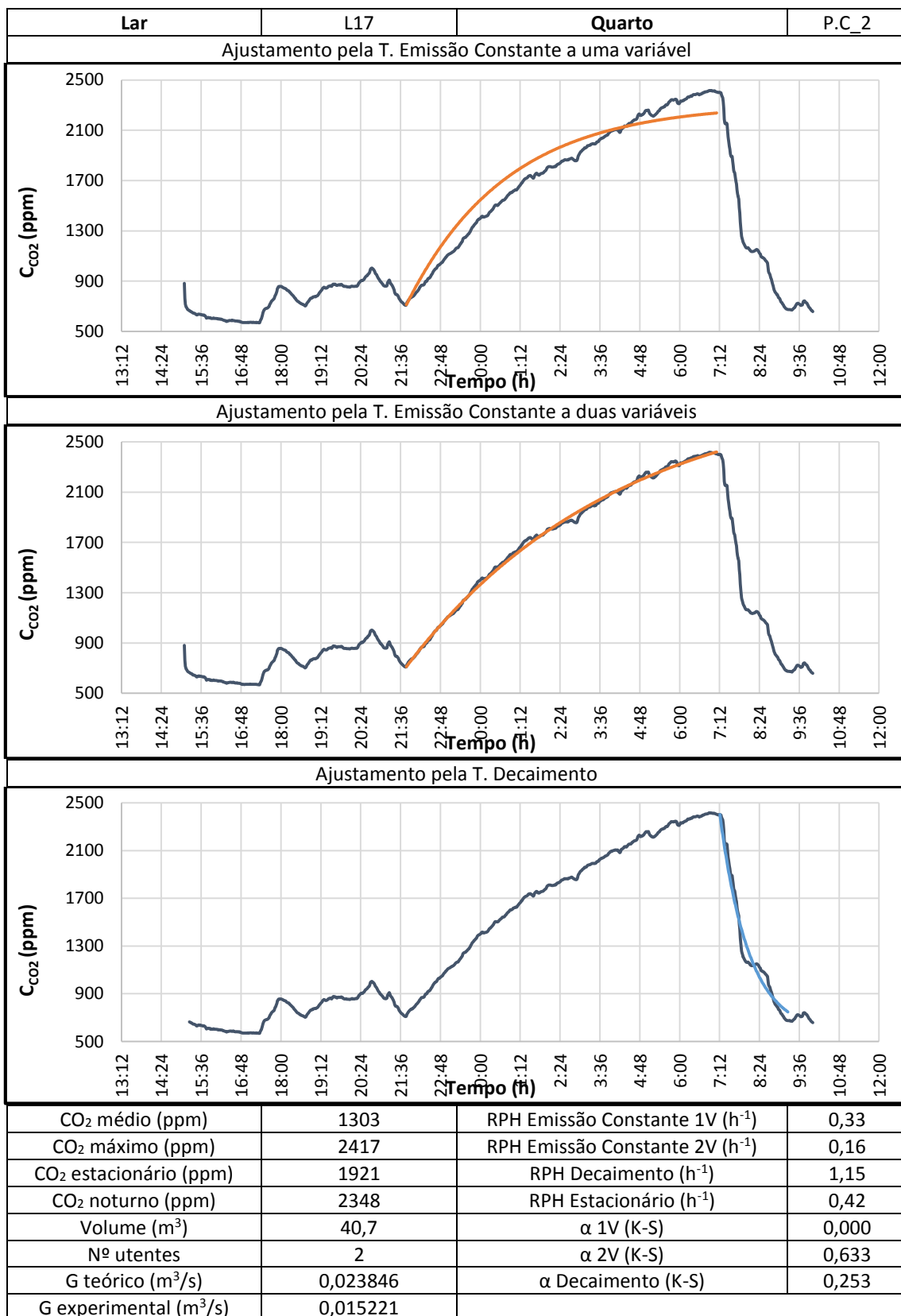


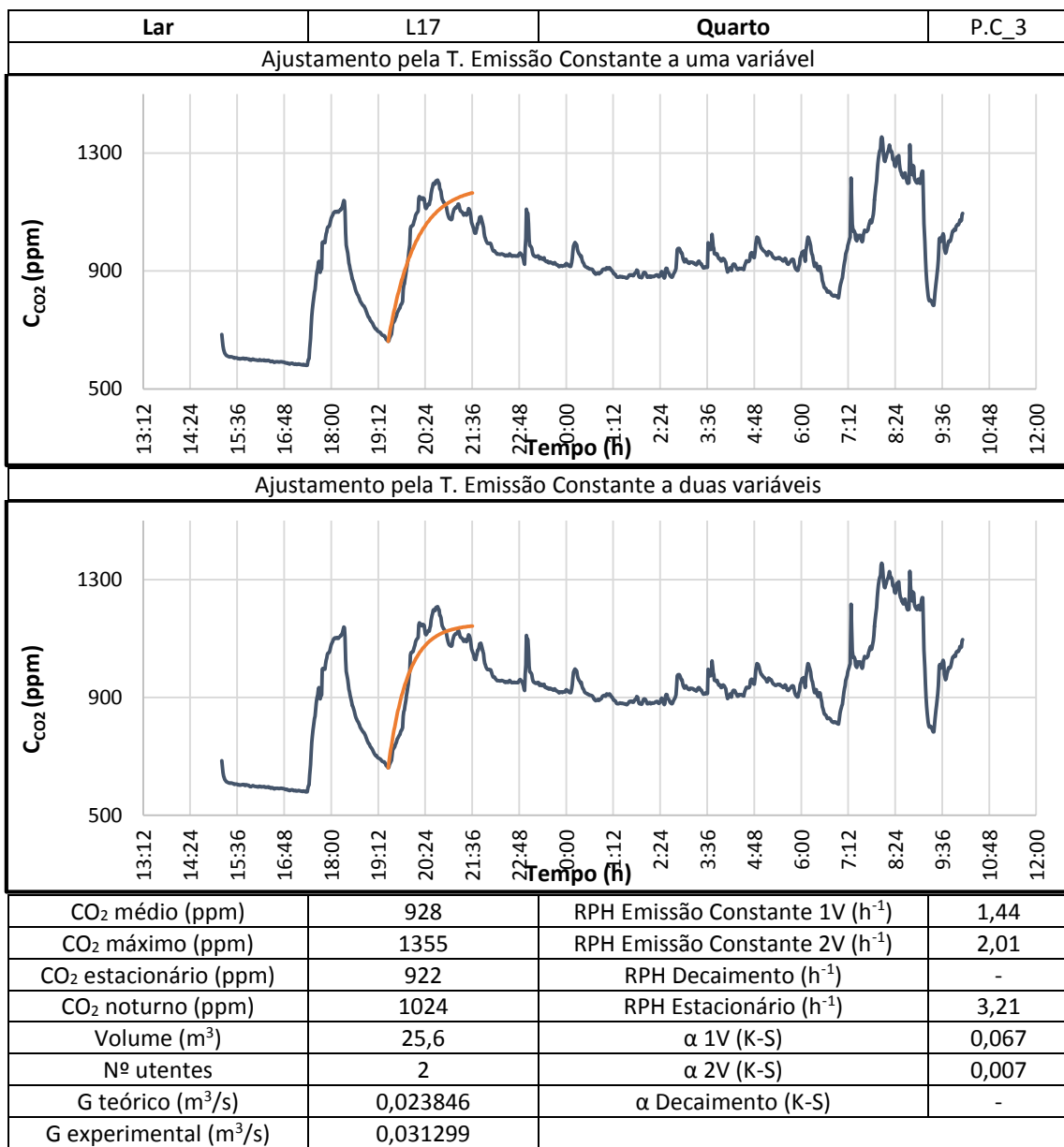


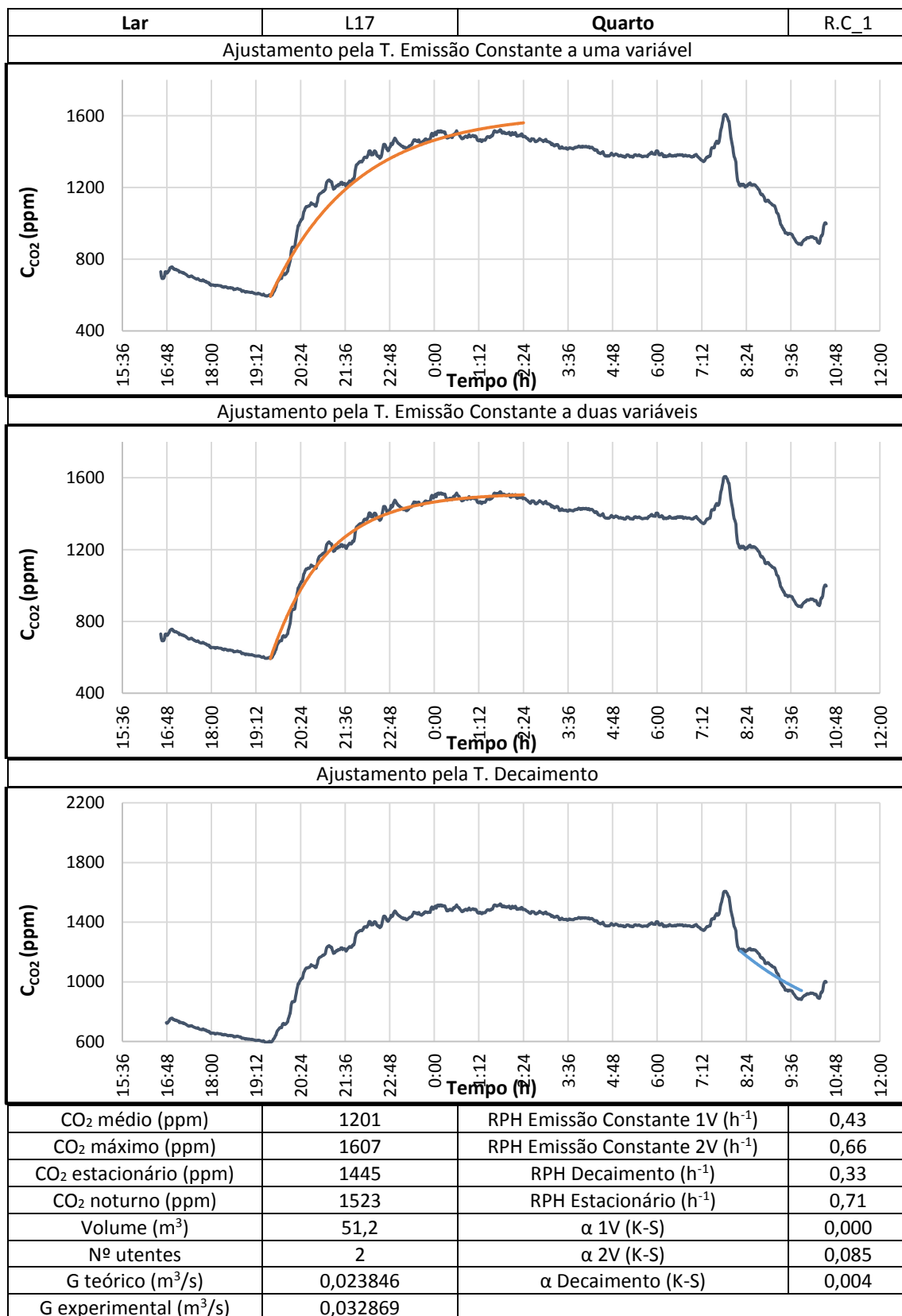


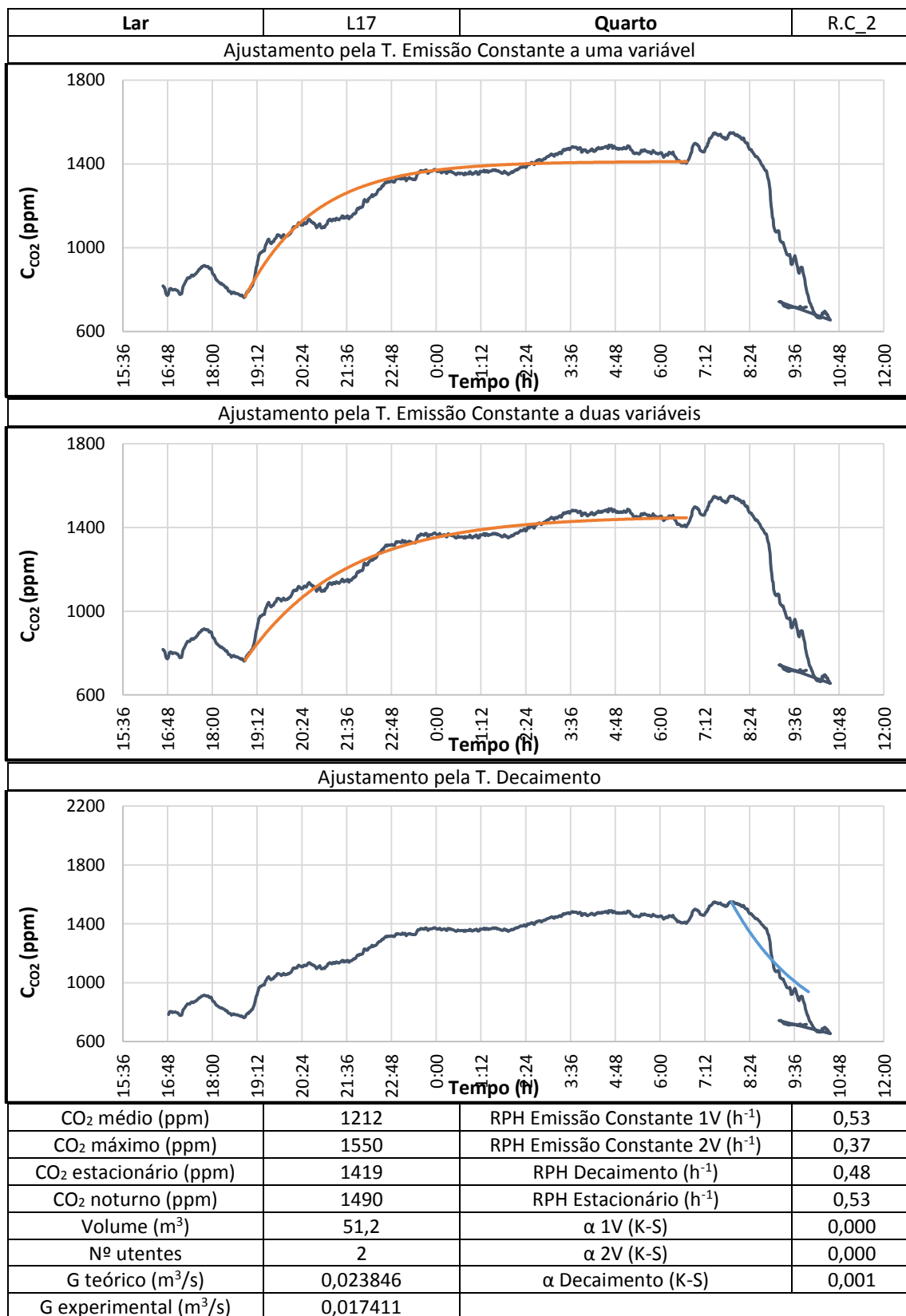


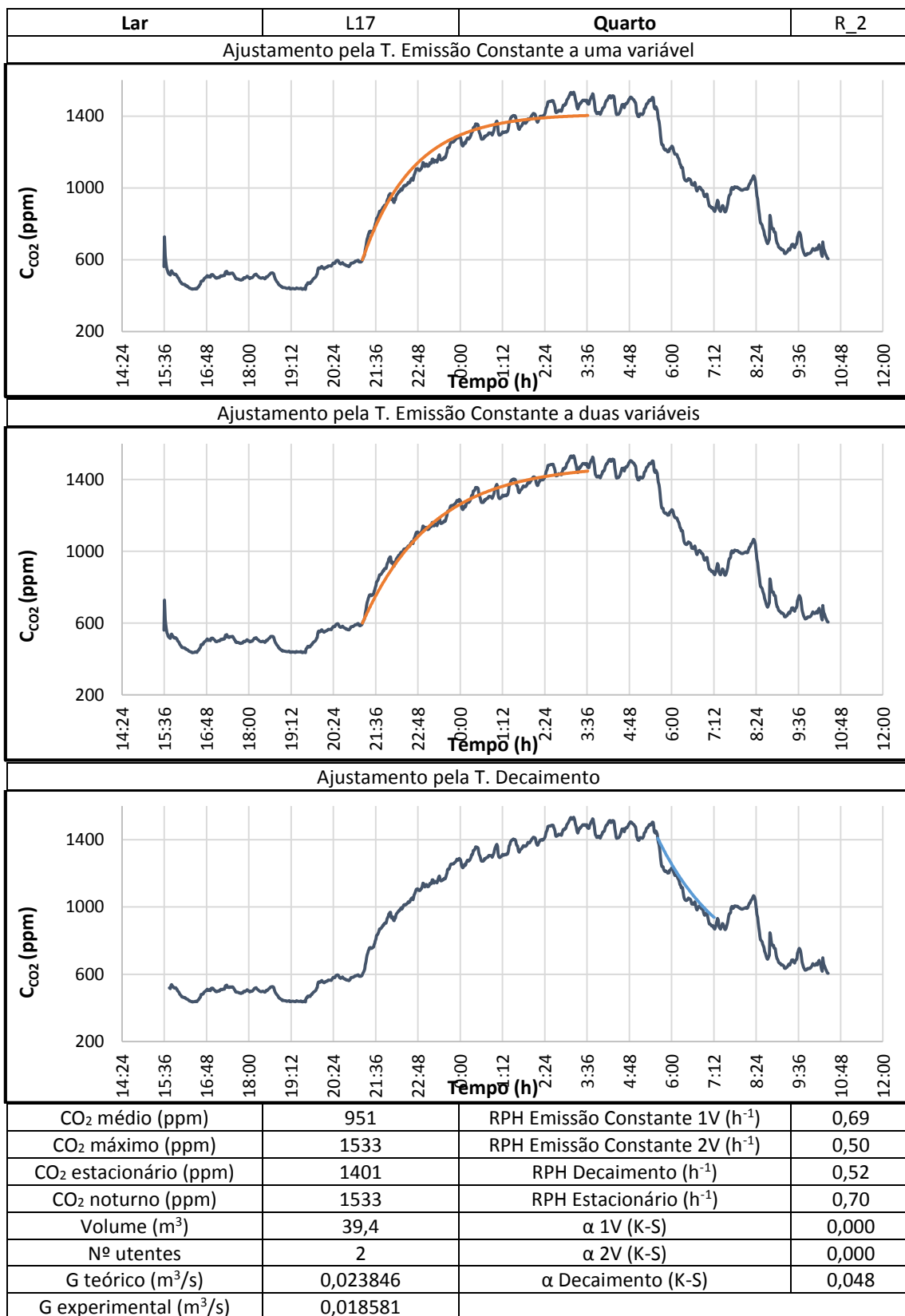


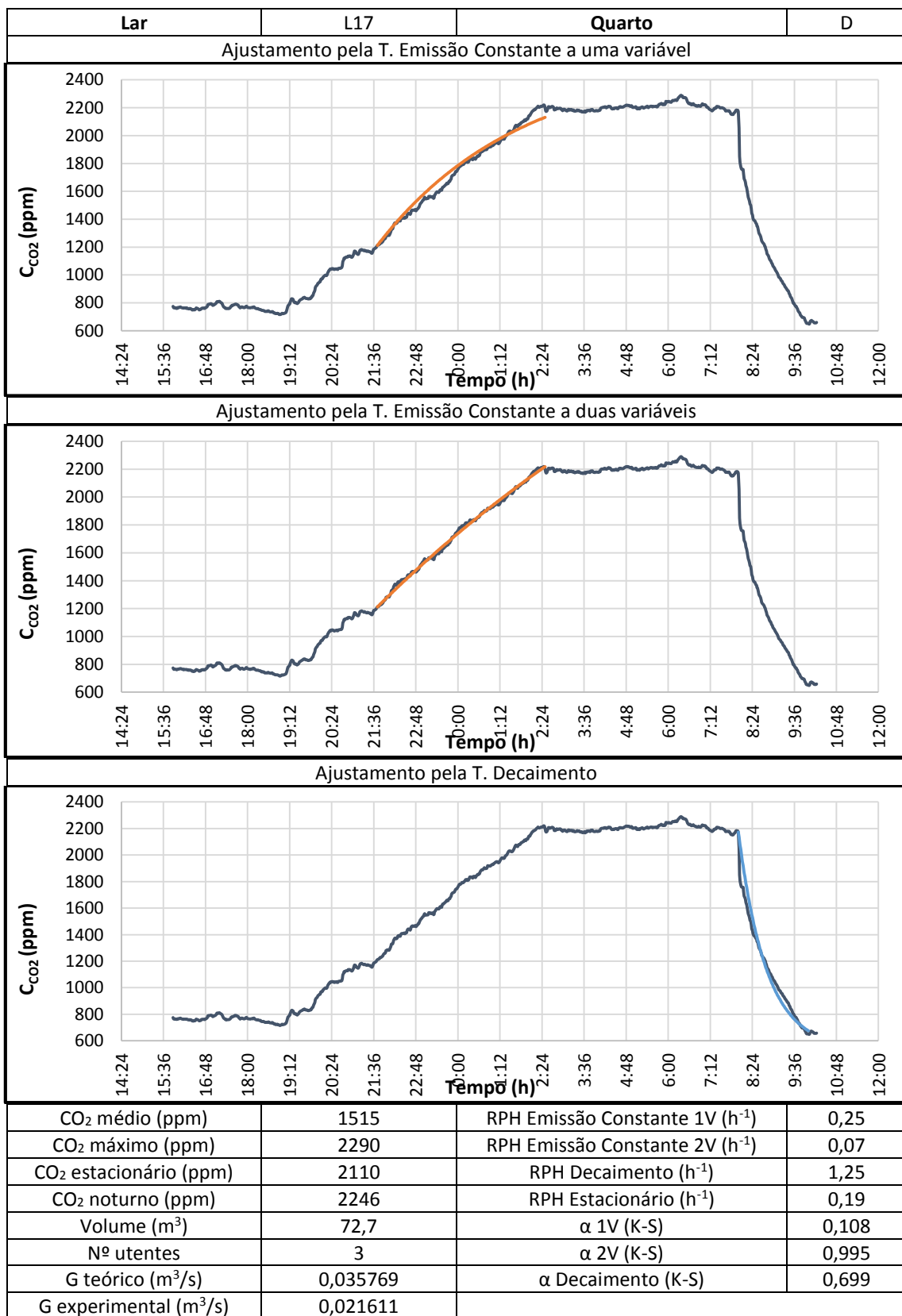


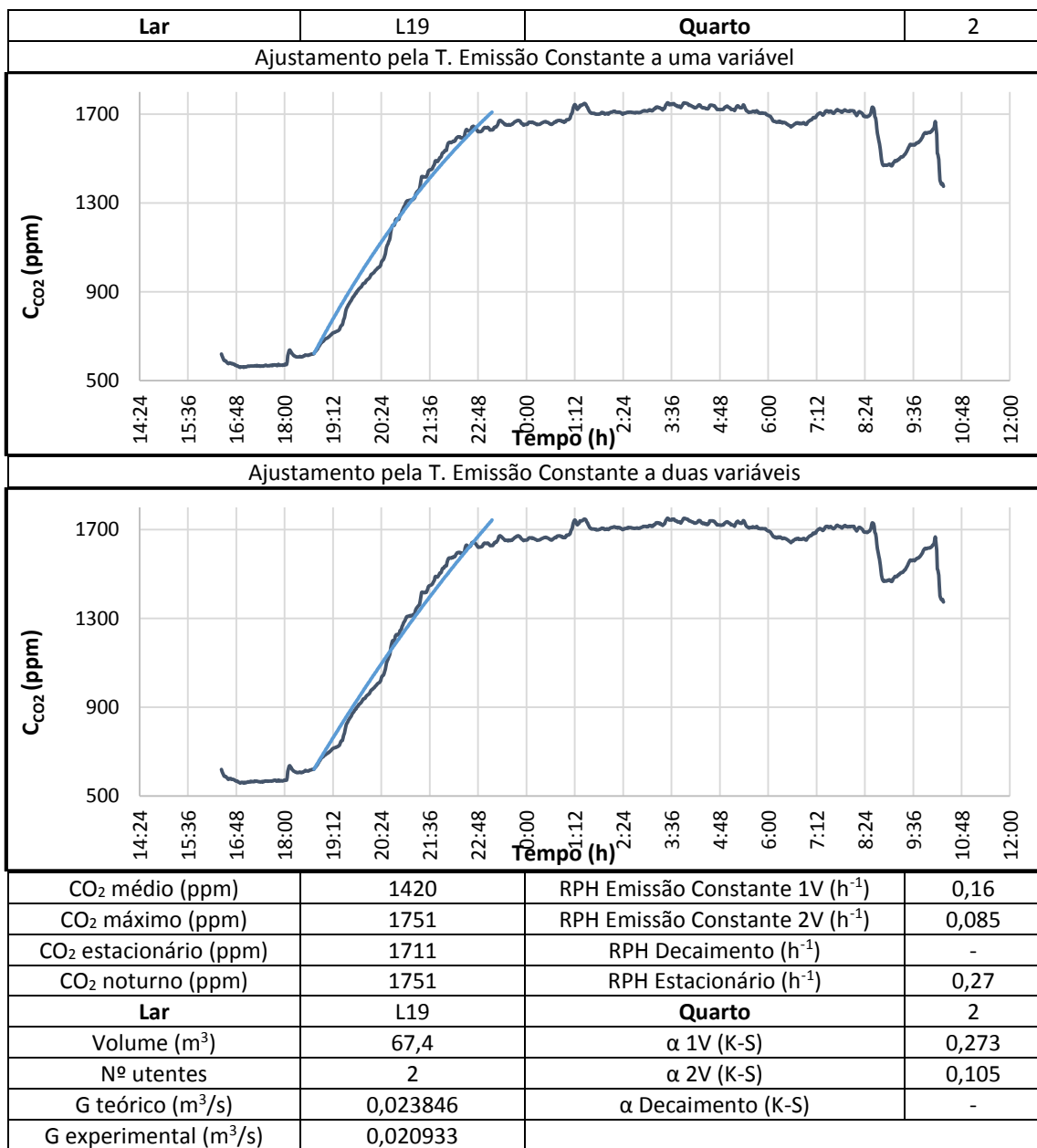


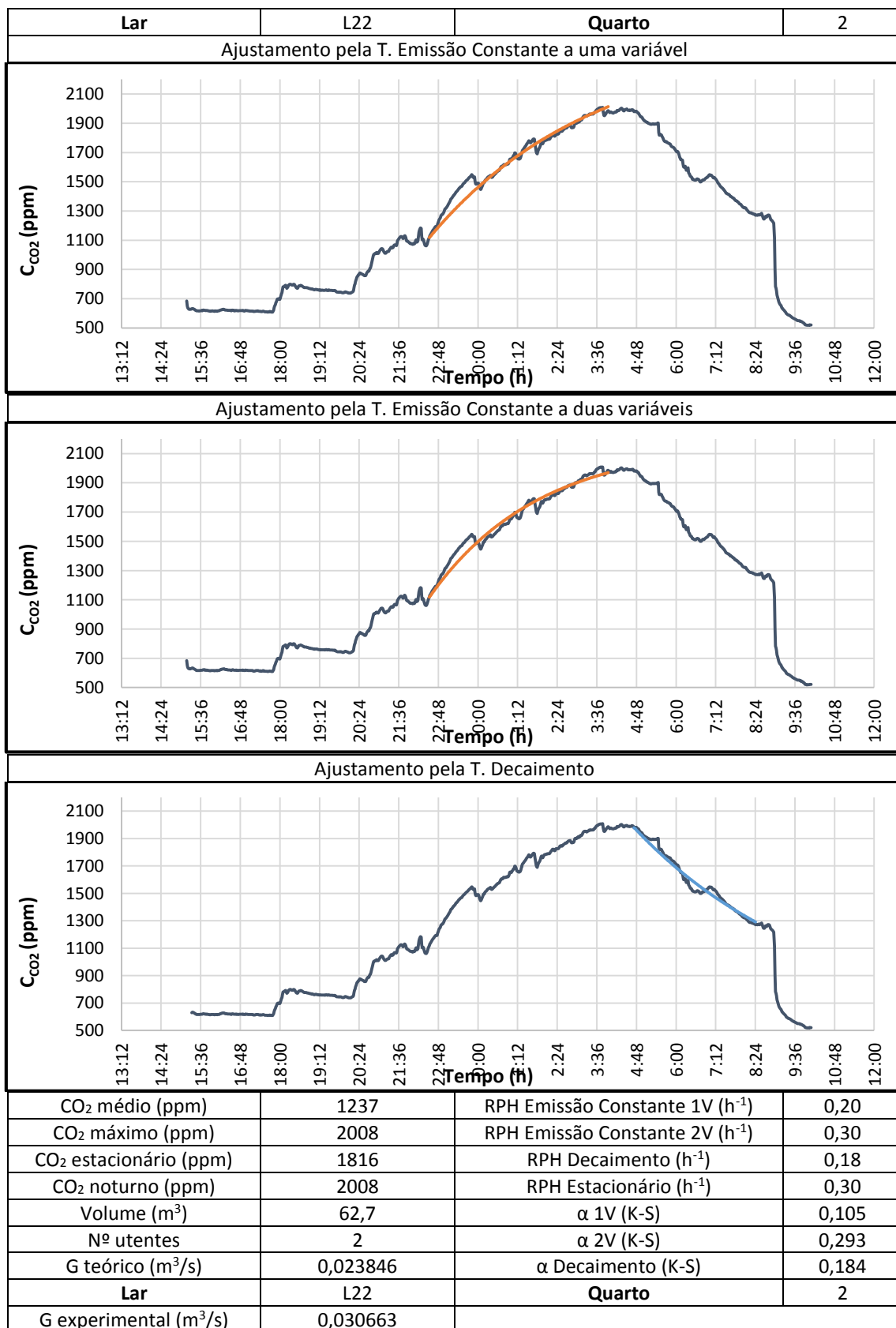


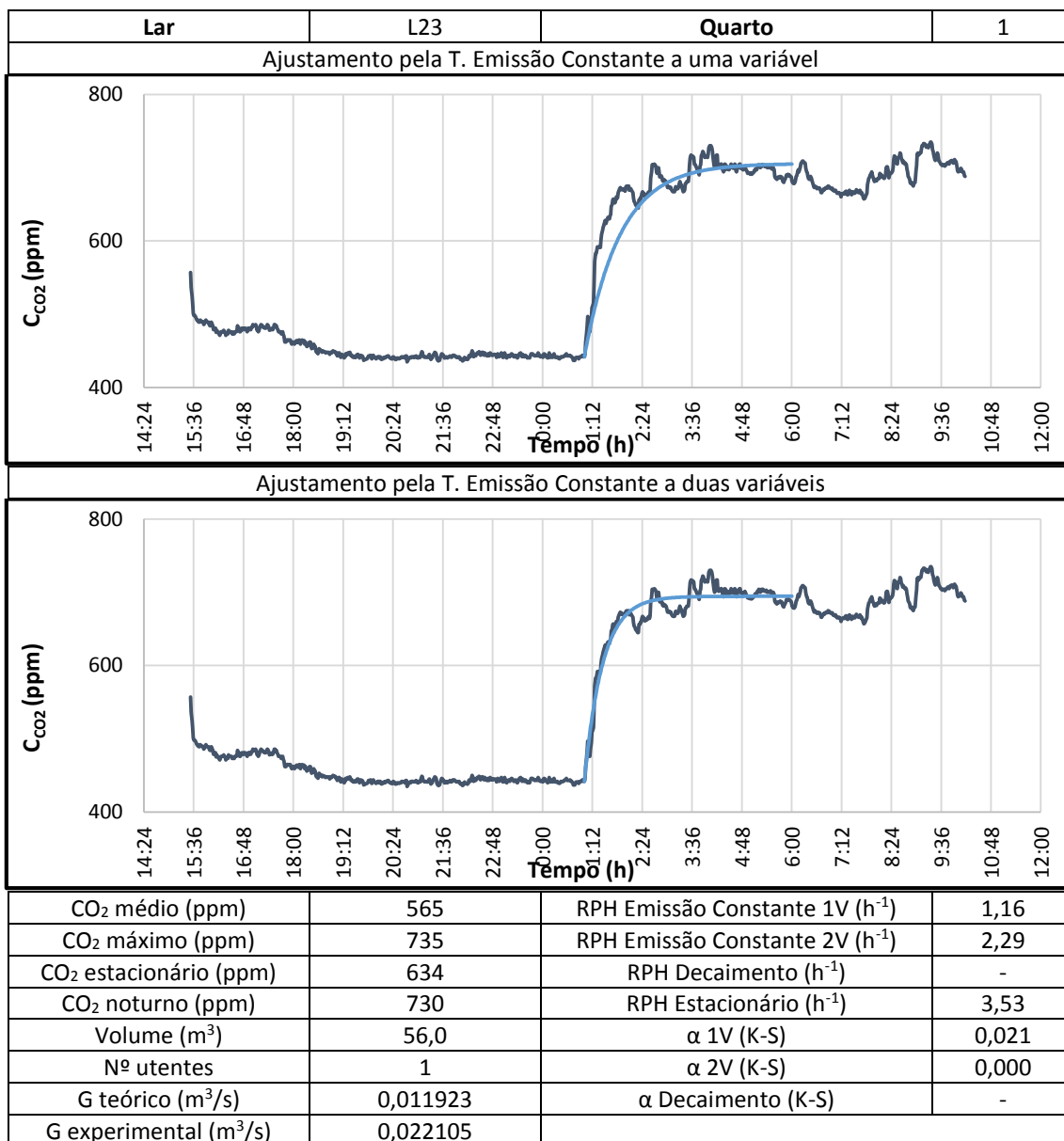


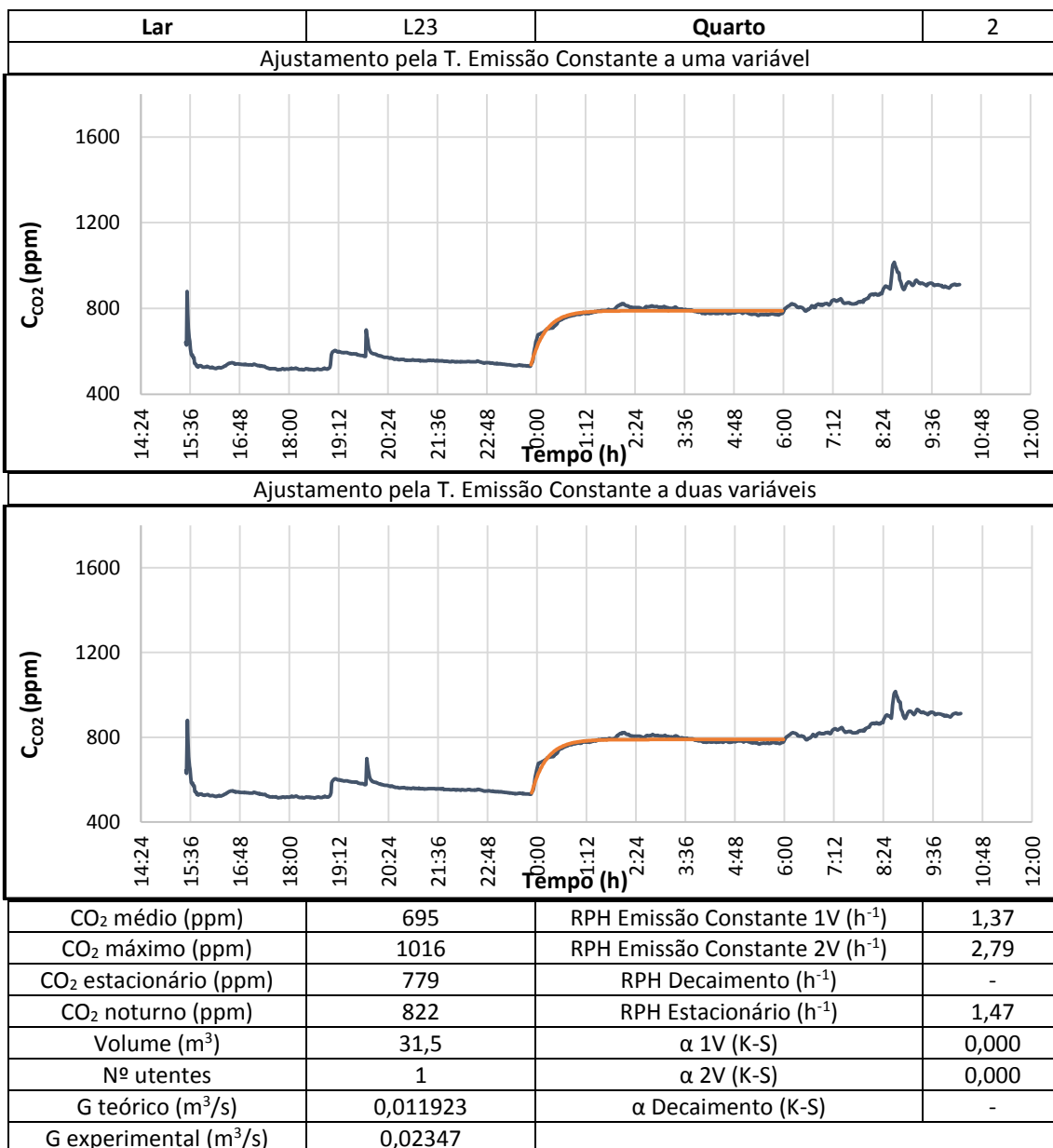


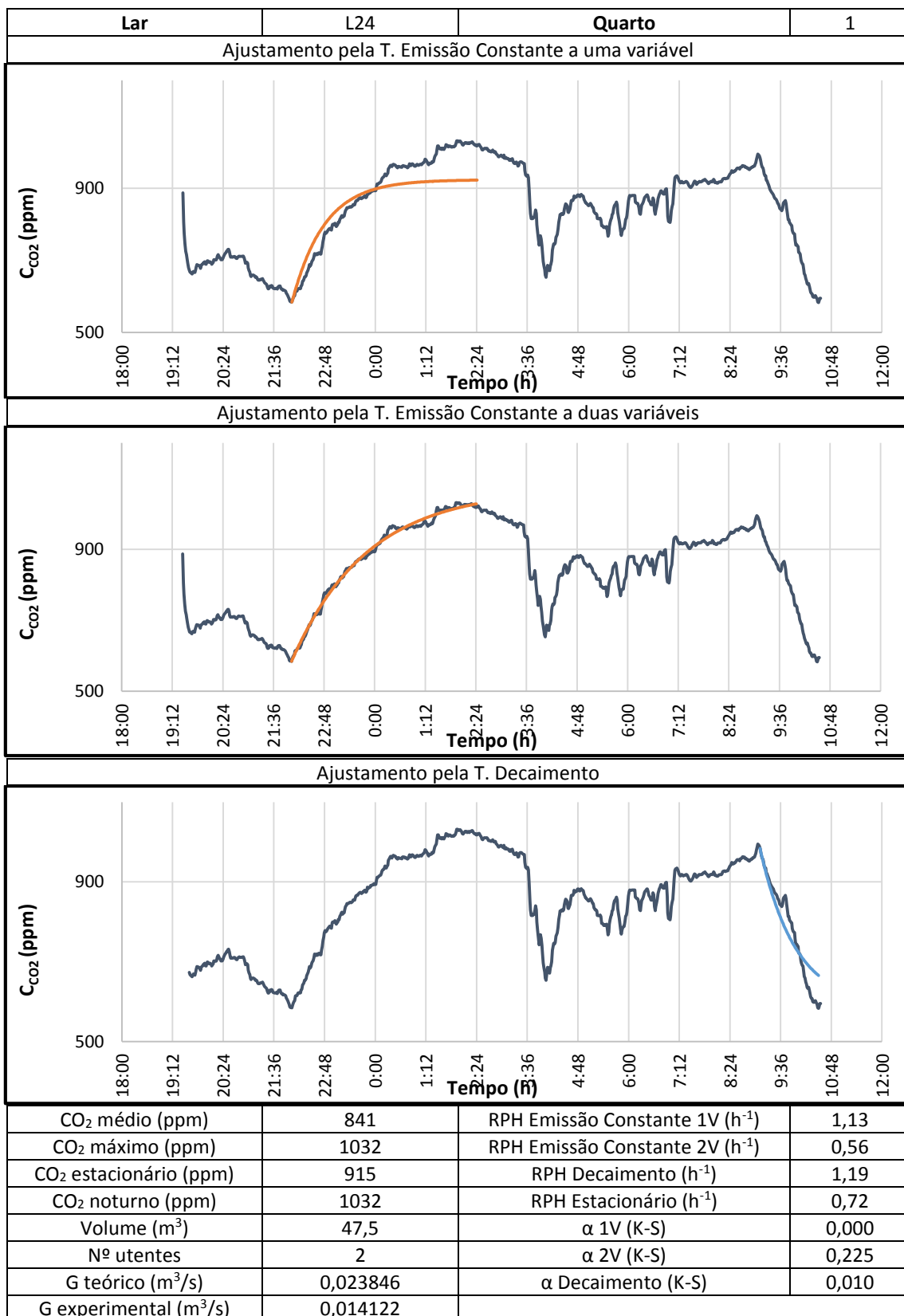


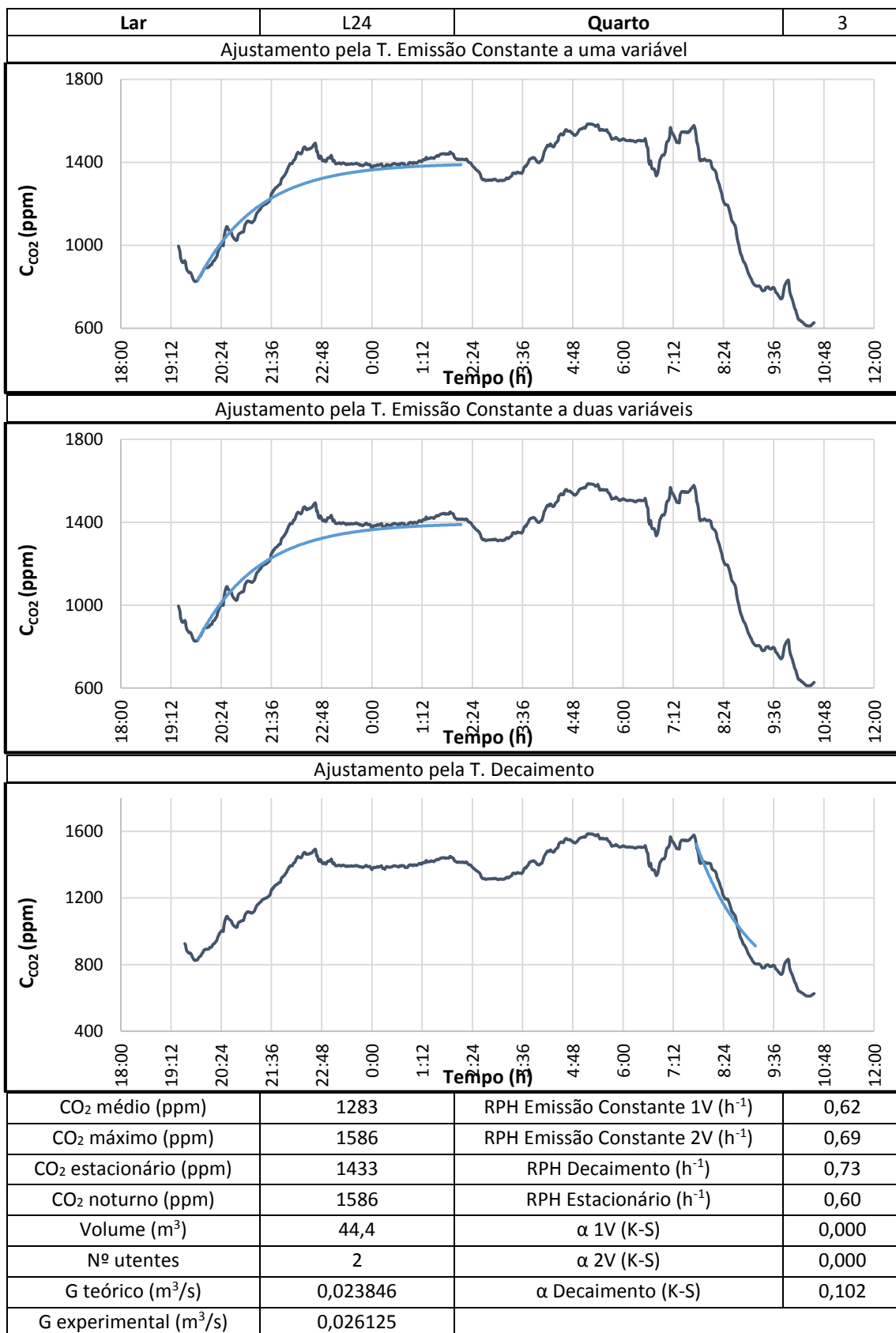


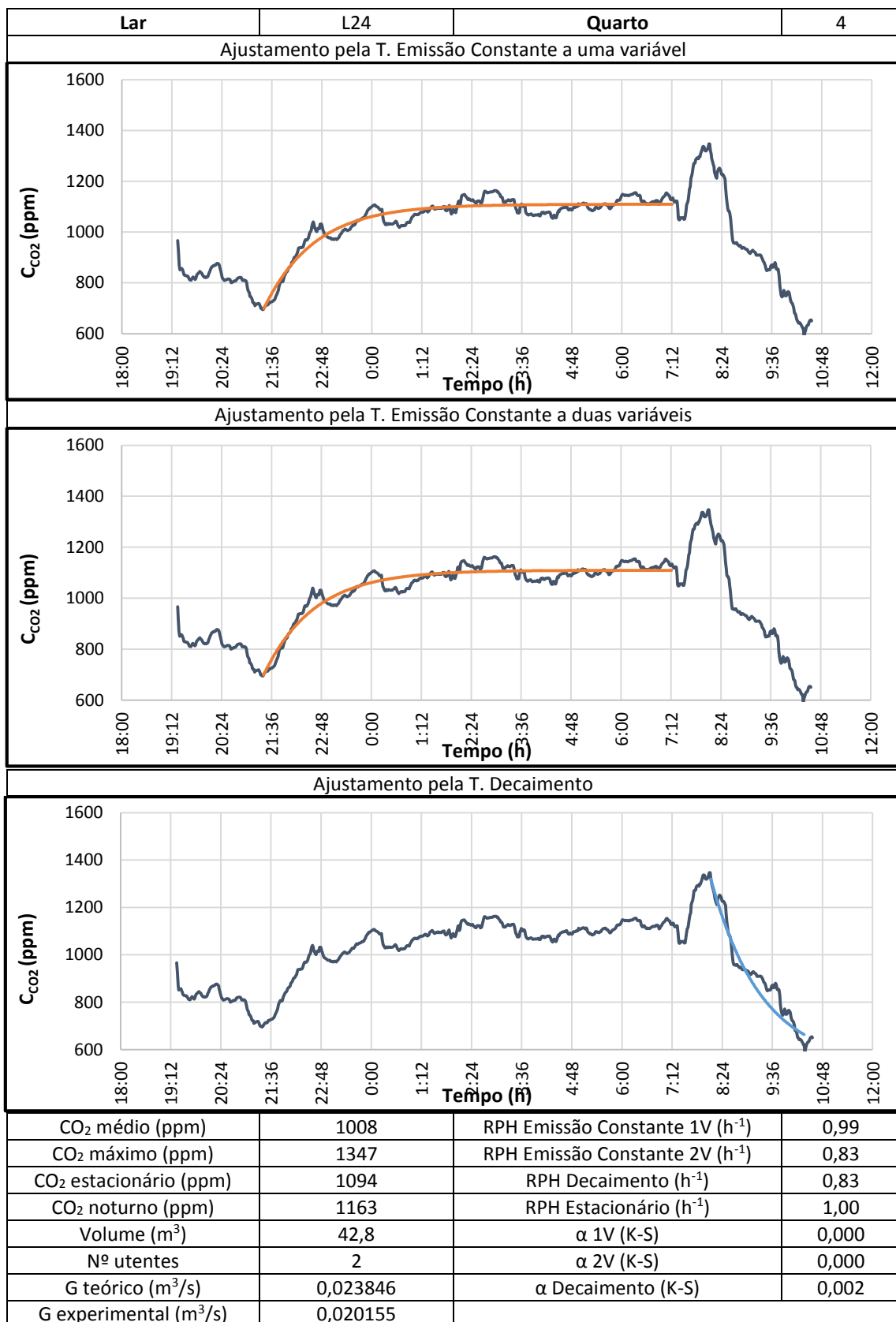


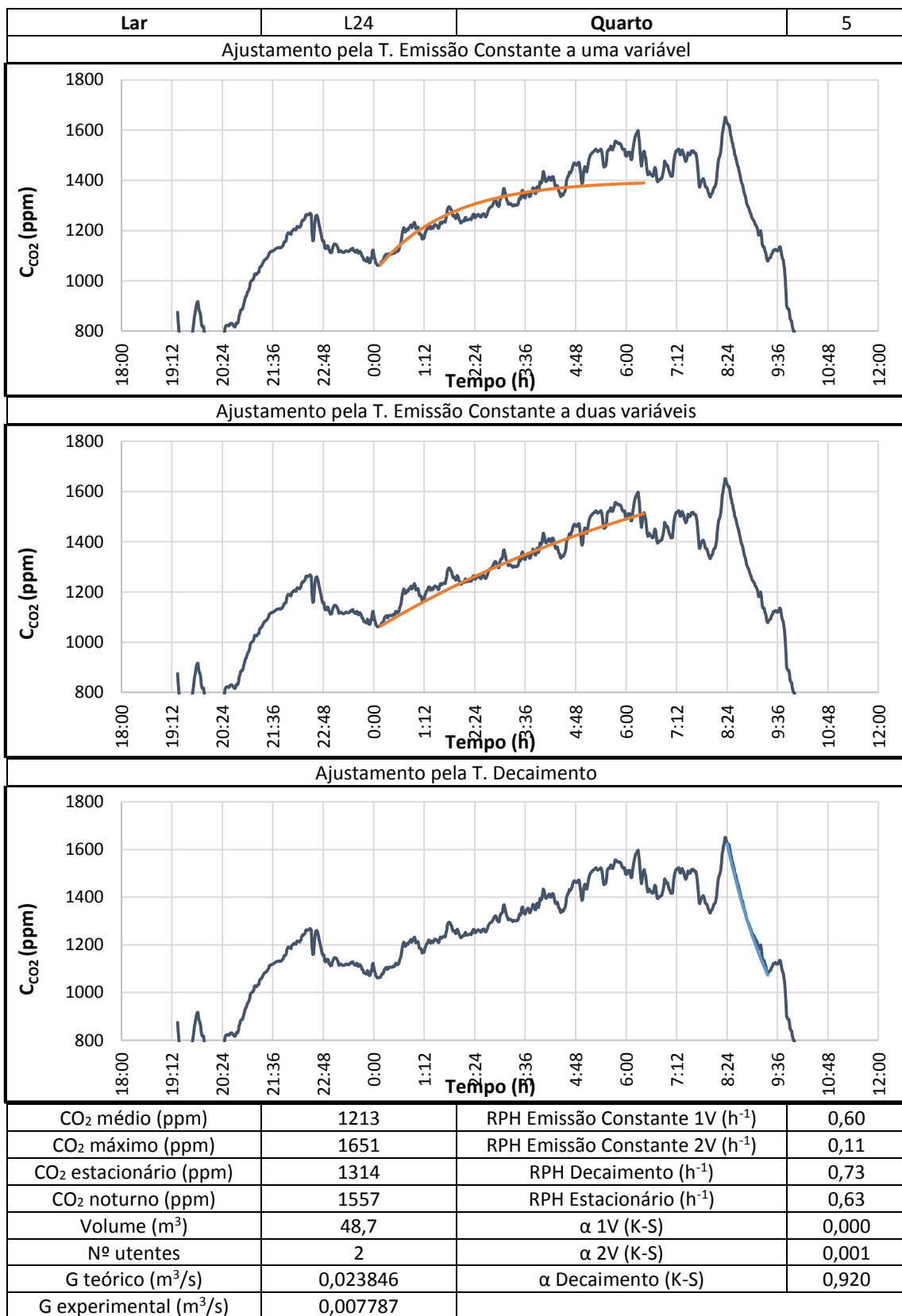












Quadro Anexo II Resultados dos ajustamentos - Inverno

